

Aus der Neurochirurgischen Abteilung
des Sankt-Gertrauden-Krankenhauses
Chefarzt Prof. Dr. med. B. Bingas

**Die Diagnostik des lumbalen Bandscheibenvorfalls
unter besonderer Berücksichtigung
der spinalen Computertomographie**

**Eine Übersicht und eigene Untersuchungen bei 238 Patienten
mit Überprüfung durch den Operationsbefund**

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Jan Peters

aus Asel

1983

Aus der Neurochirurgischen Abteilung
des Sankt-Gertrauden-Krankenhauses
Chefarzt Prof. Dr. med. B. Bingas

**Die Diagnostik des lumbalen Bandscheibenvorfalls
unter besonderer Berücksichtigung
der spinalen Computertomographie**

**Eine Übersicht und eigene Untersuchungen bei 238 Patienten
mit Überprüfung durch den Operationsbefund**

Inaugural - Dissertation
zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Jan Peters
aus Asel

Referent: Prof. Dr. med. B. Bingas

Korreferent: Prof. Dr. E. Kazner

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin

Promoviert am 10.08.1983

INHALTSVERZEICHNIS

=====

	Seite
A. Einleitung	3
<u>Teil I: Übersicht</u>	
B. Pathomorphologie des lumbalen Bandscheibenvorfalls	9
1. Zwischenwirbelscheibe	9
2. Bewegungssegment	10
3. Degenerative Bandscheibenveränderungen	11
4. Bandscheibenvorfall	12
5. Ankylose	16
6. Höhenlokalisation	16
C. Differentialdiagnose	18
D. Diagnostik des lumbalen Bandscheibenvorfalls	20
1. Klinik	20
2. Elektromyographie	25
3. Liquordiagnostik	25
4. Röntgendiagnostik	26
a. Nativaufnahmen	27
b. Myelographie	30
c. Spinale Computertomographie	36
aa. Grundlagen	36
bb. Störfaktoren	39
cc. Spinale Computertomographie	41
dd. Darstellung ossärer Veränderungen	43
ee. Darstellung des spinalen Weichteilgewebes im Lumbalbereich	45
ff. Diagnostische Wertigkeit in der Bandscheiben- diagnostik	48
d. Spinale Phlebographie	51
e. Diskographie	53

	Seite
<u>Teil II: Eigene Untersuchungen bei 238 Patienten</u>	
E. Methodik	54
F. Patientenkollektiv	58
G. Beurteilungskriterien	61
1. Strukturanordnung	61
2. Dichtemessung	67
H. Ergebnisse	70
1. Treffsicherheit der Computertomographie	70
2. Vergleich mit der Myelographie	76
3. Diskussion	79
I. Procedere in der Diagnostik des lumbalen Bandscheibenvorfalles	82
K. Literaturverzeichnis	83

A. EINLEITUNG

Die Lumboischialgie kann mit einiger Berechtigung zu den Volkskrankheiten gezählt werden. KRÄMER (1978) zitiert in seiner Monographie über die bandscheibenbedingten Erkrankungen Statistiken der Krankenkassen und Rentenversicherungsanstalten der Bundesrepublik Deutschland, wonach 20 % aller Krankschreibungen und 50 % aller vorzeitig gestellten Rentenanträge auf solchen Krankheiten beruhen. Deren praktische Relevanz wird auch aus Untersuchungsergebnissen der orthopädischen Universitätsklinik Düsseldorf deutlich, wonach in der Allgemeinpraxis jeder zehnte, in der orthopädischen Fachpraxis sogar jeder zweite Patient den niedergelassenen Arzt wegen bandscheibenbedingter Erkrankungen aufsucht. Diese bilden den überwiegenden Teil aller Wirbelsäulenerkrankungen, nämlich 92,7 %. Das Lumbalsyndrom überwiegt mit 61,9 %, das Zervikalsyndrom macht 36,1 % und das seltene Thorakalsyndrom 1,96 % der Fälle aus (nach KRÄMER 1978). Andere Ursachen der Lumboischialgie treten zahlenmäßig gegenüber den degenerativen Bandscheibenveränderungen in den Hintergrund, müssen aber differentialdiagnostisch immer bedacht werden.

Kreuzschmerzen mit Ausstrahlung in die Beine sind schon seit der Antike bekannt, wurden jedoch als eigenständiges Syndrom, als "Ischias nervosa" in Abgrenzung von der "Ischias arthritica" erst im Jahre 1770 von COTTUGNO beschrieben (VIETS 1935). Über die Ursache herrschte noch lange Zeit Unklarheit. Daß das Syndrom etwas mit der Irritation nervöser Strukturen zu tun haben müsse, war allerdings anerkannt und begründete zunächst etliche Entzündungstheorien. Dabei sah schon COTTUGNO als Ort der Entzündung nicht den N. ischiadicus, sondern die Nervenwurzel an. QUINCKE (1917) sprach von einer serösen Entzündung der Nerven. Auch LASEGUE (1864) nahm eine Neuritis in der Ätiologie der Ischialgie an. Der Faktor der mechanischen Nervenwurzelkompression durch prolabierte Bandscheibengewebe rückte erst im 20. Jahrhundert ins Blickfeld.

Der erste Bandscheibenprolaps wurde wahrscheinlich im Jahre 1909 operiert und der betreffende Operationsbericht unterstützt die mechanische Genese des Ischiasleidens (OPPENHEIM u. KRAUSE 1909). In der Folgezeit häuften sich Berichte über ähnliche Operationen. Die Befunde wurden zunächst noch als Knorpeltumoren (Chondrome) gedeutet. Der Zusammenhang zum klinischen Syndrom der Lumboischialgie war jedoch hergestellt. Im Jahre 1934 veröffentlichten MIXTER u. BARR ihre grundlegende Arbeit über 19 operierte Patienten mit einem Bandscheibenprolaps. Sie erkannten in dem operativ bestätigten Befund eine wichtige Ursache der Lumboischialgie. Jetzt war auch klar, daß es sich dabei um degenerativ verändertes Bandscheibengewebe und keineswegs um Chondrome handelte. Primär entzündliche Prozesse bleiben gegenüber den mechanischen Faktoren aber nach wie vor einer differentialdiagnostischen Überlegung wert (MUMENTHALER 1981). So berichteten beispielsweise kürzlich MEIER et al. (1982) über zwei Fälle von vaskulitischer Ischiasneuritis und CLAVEL (1981) über einen Fall von Lumboischialgie bei Herpes zoster.

Heute ist die Operation die Methode der Wahl bei der Behandlung eines Patienten mit nachgewiesenem Bandscheibenprolaps und therapieresistenter radikulärer Symptomatik. WENKER et al. (1979) berichten, daß im Jahre 1977 nach einer Umfrage, an der sich 43 neurochirurgische Kliniken und Abteilungen beteiligten, 14 137 lumbale Bandscheibenoperationen durchgeführt wurden. Schätze man die Gesamtzahl der Bandscheibenoperationen aller neurochirurgischen Kliniken, käme man auf 16 - 17 000. Hinzuzurechnen wären die Operationen der orthopädischen und chirurgischen Kliniken. An der neurochirurgischen Abteilung des Sankt-Gertrauden-Krankenhauses in Berlin-Wilmersdorf, aus der die vorliegende Arbeit hervorgegangen ist, wurden in den Jahren 1975 - 1981 insgesamt 2 411 lumbale Bandscheibenoperationen durchgeführt, davon 409 im Jahre 1981 (BINGAS 1982).

Die genannten Zahlen verdeutlichen die Relevanz des Themas. Die Frage der Operationsindikation kann nur auf der Grundlage einer exakten Diagnostik, die nicht nur den Prolaps nachweisen, sondern auch seine Höhenlokalisation angeben muß, beantwortet werden. Wenn man mit WENKER et al. (1979) davon ausgeht, daß nur etwa 10 % der Patienten mit einer Lumboschialgie der operativen Behandlung bedürfen, stellt sich für den Diagnostiker das Problem der Selektion. Sein Rüstzeug bilden dabei heute im wesentlichen die neurologische Untersuchung, die lumbale Myelographie und neuerdings die spinale Computertomographie.

Der diagnostische Prozeß beginnt nach der Anamneseerhebung immer mit einer exakten neurologischen Untersuchung, die aufgrund der bekannten segmentalen Innervationsstruktur des menschlichen Körpers die mögliche radikuläre Grundlage eines klinischen Syndroms herausarbeiten und auf diese Weise den Ort einer möglichen Wurzelkompression annähernd genau bestimmen kann (HANSEN et al. 1962; SCHLIACK 1957).

Die Klinik lieferte sogar lange Zeit allein die Kriterien der diagnostischen Entscheidung. Zwar wurde die Myelographie schon relativ früh entwickelt. SICARD et al. (1922) stellten als erste den Spinalkanal mit einem jodhaltigen öligen Kontrastmittel dar, während vorher schon DANDY (1919) im Zusammenhang mit der von ihm entwickelten Pneumenzephalographie auch die Darstellung des spinalen Subarachnoidalraums nach Luftinsufflation beschrieben hatte. Beide Methoden waren jedoch für den Nachweis eines Bandscheibenvorfalles ungeeignet, da eine Darstellung der lumbalen Wurzeltaschen (Radikulographie), auf die es wesentlich ankommt, nicht gelang. Eine auswertbare Luftmyelographie erfordert außerdem Schichtaufnahmen. Die Anwendung der Myelographie mit positiven Kontrastmitteln, die auf der Basis schwerer Pflanzenöle entwickelt worden waren, erfuhr dagegen zunächst wegen der Komplikationen des Kontrastmittels ohnehin Einschränkungen. Erst die Einführung dünnflüssigerer öliger Kontrastmittel in Form des PANTOPAQUE



(RAMSEY et al. 1944) und vor allem wasserlöslicher Kontrastmittel (Abrodil durch ARNELL et al. 1931 sowie LINDBLOM 1944) führte weiter und machte auch eine Radikulographie möglich, wobei die wasserlöslichen Kontrastmittel deutlich Überlegen waren. Allerdings waren die myelographischen Methoden immer noch mit erheblichen Komplikationen belastet, und erst in jüngster Zeit konnten Kontrastmittel entwickelt werden, die hinsichtlich ihrer guten Verträglichkeit und geringen Komplikationsrate als optimal gelten können. Noch PIEPGRAS (1977) schrieb: "Im übrigen ist bei den lumbalen Bandscheibenhernien vor allem präoperativ die Myelographie nur erforderlich, wenn die klinischen Befunde nicht eindeutig sind, d.h. eine andere als eine prolapsbedingte Ursache des Kompressionssyndroms, z.B. ein intraspinaler Tumor oder eine Knochenmetastasierung, in Frage kommt oder Probleme der Höhenlokalisation, etwa bei dem Verdacht auf Beteiligung mehrerer Bandscheiben, bestehen." (S.271) Im selben Sinn heißt es bei GROTE (1975): "Jede sichere klinische Diagnose eines lumbalen Bandscheibenvorfalles myelographisch bestätigen zu wollen, ist absolut unnötig." (s.382). Dagegen hatte WELLAUER (1961) betont, daß eine noch so exakte klinisch-neurologische Untersuchung die Myelographie nicht ersetzen könne. Bei seinen 483 operierten Patienten war der klinische Befund nur in 38 % der Fälle wegweisend gewesen. Allerdings war andererseits eine präoperativ eindeutige Klinik nur in 2,5 % der Fälle durch den Operationsbefund nicht bestätigt worden, so daß man immerhin das Risiko einer Abrodil-Myelographie, mit der WELLAUER damals noch arbeiten mußte, gegen dasjenige einer überflüssigen oder (bei mehrsegmentiger Revision) ausgedehnteren Operation hätte abwägen können. Die Entwicklung der neuen komplikationsarmen wasserlöslichen Kontrastmittel Metrizamid und Iopamidol bedeutete jedoch eine entscheidende Minimierung des Myelographierisikos und mußte zu einer Revision der anfänglichen Zurückhaltung gegenüber der Myelographie als einer Routinemethode zum Nachweis des lumbalen Bandscheibenvorfalles führen.

Eine Relativierung erfährt die Myelographie dagegen neuerdings durch eine andere radiologische Technik, die spinale Computertomographie. Basierend auf den Arbeiten von HOUNSFIELD und AMBROSE (1973) hatte sich hier zunächst eine in der alltäglichen Praxis für Patient und medizinisches Personal bestechend einfache Möglichkeit der Darstellung des Gehirns ergeben, die allerdings auf komplizierten technischen Zusammenhängen beruhte und zunächst nicht ohne weiteres auf andere Körperregionen aussagekräftig ausgedehnt werden konnte. In der Folgezeit wurden jedoch Geräte entwickelt, die eine solche Ausdehnung des Anwendungsbereichs ermöglichten und deren Auflösungsvermögen groß genug war, um differenzierte Bilder zu erhalten, die eine Aussage nunmehr auch über thorakale und abdominale Strukturen sowie über die Wirbelsäule und schließlich auch den Inhalt des Wirbelkanals erlaubten. Experimentelle Untersuchungen über die Dichtestruktur verschiedener Organe und ihre Differenzierung wurden u.a. von der Gruppe um ALFIDI vorgelegt (ALFIDI et al. 1975 b). Erste Abbildungen des Rückenmarks auf einem computertomographischen Bild wurden von ALFIDI et al. (1975 a) veröffentlicht. Bald darauf erschienen Arbeiten über den computertomographischen Nachweis von pathologischen Rückenmarks- bzw. Wirbelsäulenstrukturen wie Syringomyelie, Diastatomyelie, Meningomyelocelen, spinalen Tumoren (u.a. WEINSTEIN et al. 1975; DI CHIRO et al. 1976 a; HAMMERSCHLAG et al. 1976; NAKAGAWA et al. 1977) und von Wirbelsäulentraumen (u.a. NYKAMP et al. 1978; TADMOR et al. 1978). Mit dem sehr hohen Auflösungsvermögen neuerer Gerätegenerationen gelang schließlich auch eine Differenzierung des spinalen Weichteilgewebes, v.a. im Lumbalbereich (HAUGHTON et al. 1980). Damit wurde auch die Beurteilung der Bandscheibe und die Diagnostik eines Bandscheibenvorfalles im Computertomogramm ohne weitere Hilfsmittel möglich. Die spinale Computertomographie entwickelte sich zu einer ernsthaften Konkurrenz für die Myelographie und wird heute routinemäßig in der spinalen Diagnostik eingesetzt.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil werden nach einer Darstellung der Pathomorphologie des

Bandscheibenvorfalls die einzelnen diagnostischen Verfahrenswesen zu seinem Nachweis abgehandelt. Besonderer Wert wird dabei auf die Computertomographie gelegt und ihr Stellenwert in der Wirbelsäulendiagnostik anhand der Literatur herausgearbeitet. Im zweiten Teil werden anschließend die Ergebnisse eigener Untersuchungen an einem Kollektiv von 238 operierten Patienten mitgeteilt und die diagnostische Aussagekraft sowohl der lumbalen Myelographie als auch der spinalen Computertomographie vergleichend erörtert. Abschließend wird versucht, Empfehlungen für das diagnostische Procedere bei der Lumboischialgie zu formulieren.

TEIL I : ÜBERSICHT

=====

B. PATHOMORPHOLOGIE DES LUMBALEN BANDSCHEIBENVORFALLS

1. Zwischenwirbelscheibe

Die Zwischenwirbelscheibe wird aus den konzentrisch angeordneten bindegewebigen Lamellen des Faserrings und dem Gallertkern gebildet. Der Übergang ist fließend. Die kollagenen Fibrillen des Faserrings verlaufen in Form einer Spirale von einem Wirbelkörper zum benachbarten, ihre Richtung wechselt von Schicht zu Schicht. Die oberflächlichsten Lamellen, die sog. SHARPEY-Fasern, sind am kräftigsten gebaut. Sie enden in den knöchernen Randleisten der Wirbelkörper und bilden das sehnige Faserbündel des Anulus fibrosus. Nach innen wird das Gewebe dagegen lockerer, der Wassergehalt nimmt zu. Die Histologie zeigt in diesen Schichten typische Knorpelzellen eingebettet in chondromukoide Grundsubstanz. Der Faserring ist nach ventral und lateral relativ kräftig, nach dorsal dagegen sehr viel dünner. Der Gallertkern, der wie der Faserring entwicklungsgeschichtlich aus dem parachordalen Gewebe hervorgegangen ist und zugleich bis etwa zum 7. Lebensjahr noch Zellen des residuellen Chordasegments enthält, besteht schließlich größtenteils aus Mukopolysacchariden, die aufgrund ihres hohen Wasserbindungsvermögens einen enormen Wasseranteil von nahezu 90 % garantieren. Der Nucleus pulposus wirkt auf diese Weise als inkompressibles Wasserkissen und übersetzt auf ihn einwirkende Druckbelastungen in Zugbelastungen des umgebenden Faserrings. Aber auch schon in Ruhe übt er aufgrund seines Quellungsdruckes eine Zugwirkung auf die Lamellen des Faserrings und außerdem eine Druckwirkung auf die Knorpelabschlußplatten der Wirbelkörper aus.

Die Bandscheibe ist ein bradytrophes Gewebe, dessen Ernährung ausschließlich auf Diffusion beruht. Entwicklungsgeschichtlich kann zwar beim Foeten eine Gefäßversorgung aus Ästen in den Foramina intervertebralia nachgewiesen werden, wenngleich diese nur

den Faserring, nie aber den Gallertkern versorgen. Aber nach der Geburt bilden sich diese Gefäße rasch wieder zurück und schon beim vierjährigen Kind sind nur noch Gefäßreste zwischen den äußersten Lamellen zu finden (TÖNDURY 1970).

Wirbelkörper und Bandscheibe werden ventral vom vorderen und dorsal vom hinteren Längsband überzogen. Während das vordere Längsband relativ breit ist, verschmälert sich das hintere Längsband nach lumbal und läßt die dorsolateralen Abschnitte frei. Dies ist für die Richtung von Bandscheibenvorfällen von Bedeutung, die sehr viel häufiger nach dorsolateral als nach dorsomedial gehen.

2. Bewegungssegment

Aus zwei Gründen kann eine Betrachtung der Pathologie des Bandscheibenvorfalles sich nicht isoliert auf die Zwischenwirbelscheibe beschränken. Zum einen bereitet es schon dem Morphologen Schwierigkeiten, die Bandscheibe als isoliertes Gebilde abzugrenzen. Morphologisch handelt es sich um Symphysen, d.h. vorwiegend aus Bindegewebsknorpel bestehende Synchronosen (BUCHER 1973). Der bindegewebige Faserring und der Bindegewebsknorpel der Bandscheiben strahlen in die knöchernen Randleisten und die aus verkalktem hyalinen Knorpel bestehenden Schlußplatten der benachbarten Wirbelkörper ein und vollziehen so die Verbindung zwischen ihnen. Zum anderen ist eine isolierte Betrachtung der Zwischenwirbelscheiben aber auch unter dem funktionellen Aspekt nicht sinnvoll. Die funktionelle Bedeutung der Zwischenwirbelscheiben ergibt sich aus der Bewegung der Wirbel gegeneinander, die außerdem noch durch die kleinen Wirbelgelenke, den Bandapparat und die Muskulatur definiert ist. Aus diesen Gründen wurde von JUNGHANS (1951) der Begriff des Bewegungssegments eingeführt.

Zum Bewegungssegment der Wirbelsäule zählen die benachbarten Wirbel, die Zwischenwirbelscheiben, die kleinen Wirbelgelenke, die Foramina intervertebralia und der Wirbelkanal mit den darin

befindlichen Strukturen, der Bandapparat und die Muskulatur. Das komplexe Bedingungsgefüge des Bewegungssegments ist pathogenetisch von größter Bedeutung. Kommt es zu Störungen in einem der Teile, so wirkt sich dies auch auf die anderen aus. So wurde schon früh beschrieben, wie degenerative Bandscheibenveränderungen zu einer Instabilität der kleinen Wirbelgelenke und zu pathologischen Gelenkveränderungen führen können (OPPENHEIMER 1938; ABEL 1977). Nach Einführung der Computertomographie in die spinale Diagnostik fanden CARRERA et al. (1980 a) bei 65 von 100 Patienten mit Lumbago oder Lumboischialgie abnorme Gelenkveränderungen. Auch LACKNER et al. (1982) wiesen anhand von computertomographischen Befunden auf den Zusammenhang von asymmetrischer Wirbelgelenkstellung und Bandscheibenvorfall hin.

3. Degenerative Bandscheibenveränderungen

Ist die Funktion der intakten Bandscheibe durch die Elastizität des Gallertkerns, der jede Belastung gleichmäßig auf alle Strukturen verteilt, und die Zugfestigkeit des Faserrings gewährleistet, so kommt es durch die normalen Alterungsvorgänge zu Funktionsbeeinträchtigungen noch im Vorfeld degenerativer Veränderungen. Durch zunehmenden Kollagengehalt kommt es zur Dehydrierung und Abnahme des Quellungsdruckes des Gallertkerns. Gleichzeitig werden dadurch die Diffusionsvorgänge gestört. Daraus resultiert eine Schrumpfung des Gallertkerns, der sich vom anliegenden Gewebe löst. Dies bedeutet insofern eine Funktionseinschränkung, als nun eine gleichmäßige Verteilung der Belastungswirkungen nicht mehr möglich ist. Durch regressive herdförmige Veränderungen des Faserrings kann es unter Zugbelastung dann zu radiären Einrissen kommen, in der Folge auch zu zirkulären Rissen und zu einem ausgedehnten Spaltensystem (TÖNDURY 1970). Auch der Gallertkern enthält Hohlräume, die es beispielsweise erleichtern, Flüssigkeit zu instillieren, wie es bei der Diskographie notwendig ist (KRÄMER 1978). Im Hohlraumssystem der Bandscheiben kann es zu Gasansammlungen kommen, deren Entstehungsursachen noch

unbekannt sind und die röntgenologisch als "Vakuumphänomen" imponieren (SCHMORL et al. 1968).

Mit dieser Entwicklung beginnt die Pathologie der degenerativen Bandscheibenveränderungen. In die Spalten des Faserrings können unter Druckbelastung Teile des Gallertkerns eindringen, noch ohne daß die Integrität der Bandscheibe nach außen verletzt wäre ("dérangement interne"). Es kann zur Sequesterbildung und Nekrobiose der Sequester kommen (TONDURY 1970). Es sind dies noch gleichsam intradiscale Sequester. Durch den Elastizitätsverlust des Gallertkerns leidet schließlich auch die Straffung der Bänder, so daß es zu einer Lockerung im Bewegungssegment kommt. Die abnormen Verschiebungen der Wirbelkörper gegeneinander sind röntgenologisch bei den Funktionsaufnahmen erkennbar.

4. Bandscheibenvorfall

Voraussetzung des "dérangement interne" sind degenerative Veränderungen des Faserrings in Form der Rißbildungen und gleichzeitig ein noch ausreichender Quellungsdruck des Gallertkerns, damit dieser in das Spaltensystem eindringen kann. Man kann von einem Mißverhältnis der degenerativen Prozesse sprechen, denn würden sich die Alterungsvorgänge entsprechen, der Quellungsdruck des Kerns und die Rißfestigkeit des Faserrings also parallel abnehmen, wäre die Voraussetzung zur Verschiebung von Kerngewebe nicht mehr gegeben.

Allerdings spielen neben dem Quellungsdruck noch andere Faktoren eine Rolle. KRAMER (1978) nennt im wesentlichen vier auslösende Momente für die pathologische Verlagerung von Bandscheibengewebe:

- a. hoher Bandscheibenbelastungsdruck;
- b. hoher Quellungsdruck des Bandscheibengewebes;
- c. Gefügelockerung mit Demarkierung von Bandscheibengewebe;
- d. Schub- und Scherkräfte.

Diese Kräfte können schließlich in einer Dorsalverlagerung von Bandscheibengewebe in den Spinalkanal resultieren. Auch eine

Ventralverlagerung ist möglich und gelegentlich beschrieben worden (CLOWARD 1952). Ihr Nachweis war in der Vergangenheit nur diskographisch möglich und kann jetzt auch durch das CT geführt werden. Die klinische Relevanz eines ventralen Prolaps' ist umstritten, eine Operation ist in solchen Fällen sicher nicht gerechtfertigt.

Wenn von einem Bandscheibenvorfall die Rede ist, ist unausgesprochen ein dorsaler Prolaps in den Spinalkanal gemeint. Damit ist das nächste Stadium erreicht, in dem die Verschiebungen nicht mehr nur auf den Zwischenwirbelraum beschränkt sind. Die Terminologie der Prolapsstadien ist in der Literatur nicht ganz einheitlich. Bleibt der Faserring in seiner Kontinuität erhalten, spricht man allgemein von einer Protrusion, wenn die Bandscheibe in ganzer Breite mäßig vorgewölbt ist. Man hat gesehen, daß solche Veränderungen rückbildungsfähig sein können, das Bandscheibengewebe sich also wieder in den Zwischenwirbelraum zurückverlagern kann. Der Begriff der Protrusion läßt allerdings keine Differenzierung dahingehend zu, ob die Gallertmasse noch ein zusammenhängendes, mehr oder weniger funktionsfähiges Gebilde ist, oder ob schon intradiscale Sequester vorliegen. Möglicherweise ist diese Frage aber hinsichtlich der Mobilität der Protrusion entscheidend, da sich sequestriertes Gewebe schlechter zurückverlagern könnte.

In dieser Terminologie wäre von einem Prolaps erst dann zu sprechen, wenn es zu einer größeren Raumforderung seitens der Bandscheibe gekommen und/oder der Faserring perforiert ist und das Kerngewebe herausquillt. Ist dieses in sich sequestriert, läge ein sequestrierter Prolaps vor; verlöre es den Kontakt zur Bandscheibe, wäre dies ein freier Sequester. Freie Sequester kommen nach MOHSENIPOUR et al. (1977) bei 25 % der Bandscheibenvorfälle vor. Selten kann es auch einmal zur Perforation der Dura durch den Prolaps kommen (PEYSER et al. 1977; CIAPPETTA et al. 1981).

Von dieser Klassifizierung geht SPANGFORT (1972) in seiner umfassenden Analyse von 2504 operierten Bandscheibenvorfällen aus, wobei er modifizierend nicht von einem sequestrierten bzw. nicht-sequestrierten, sondern von einem kompletten bzw. inkompletten Prolaps spricht und als Unterscheidungsmerkmal die Beziehung zum hinteren Längsband ansieht. Der komplette Prolaps liegt extraligamentär, der inkomplette subligamentär. STAHL (1977, zit. bei KRÄMER 1978) fand allerdings bei seinen Bandscheibenpräparationen, daß das hintere Längsband im Lumbalbereich die hintere Bandscheibenbegrenzung nicht ganz bedeckt, sondern in den dorsolateralen Abschnitten freiläßt, also dort, wo Bandscheibenvorfälle am häufigsten lokalisiert sind. Die Beziehung zum hinteren Längsband dürfte daher bei den meisten Vorfällen von keiner Bedeutung sein.

Der Übergang von der Protrusion zum Prolaps ist in dieser Terminologie unscharf. Ob es zu einer Perforation gekommen ist, läßt sich in den meisten Fällen mit letzter Sicherheit erst intraoperativ feststellen. Die präoperative Diagnostik erlaubt streng genommen lediglich eine Wahrscheinlichkeitsangabe, die allerdings in ausgeprägten Fällen an Sicherheit gewinnt. Eigentlich wäre eine relativ sichere Aussage nur diskographisch möglich. Es gibt aber auch ausgeprägte Dorsaldislokationen des Bandscheibengewebes ohne Perforation des Faserrings, so daß die Perforation als Prolapskriterium ohnehin nicht gerechtfertigt erscheint. Nur wenn ein freier Sequester vorliegt, kann dies im CT in der Regel erkannt und eine Perforation mithin vorausgesetzt werden.

Für das therapeutische Vorgehen ist die Frage, ob noch eine Protrusion oder schon ein Prolaps vorliegt, sicherlich zweitrangig. Die Indikation zur Operation ist ausschließlich unter den Gesichtspunkten der Raumforderung (nach den entsprechenden röntgenologischen Kriterien) und der klinischen Symptomatik zu stellen. Trotz der Unschärfe der Unterscheidung von Protrusion und Prolaps ist der Begriff der Protrusion jedoch geläufig und

Schematische Darstellungen:

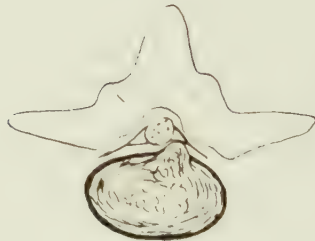
a. Normalbefund



b. Protrusion



c. Prolaps, nicht perforiert



d. Prolaps, perforiert



bezeichnet in erster Linie mäßige Bandscheibenvorwölbungen, die myelographisch in der seitlichen Aufnahme als Impressionen der Kontrastmittelsäule hervortreten, aber zu keiner Wurzelkompression führen, so daß die Wurzeltaschen zur Darstellung kommen.

Die Klassifikation der Bandscheibenvorfälle, die mit letzter Sicherheit erst nach der Operation erfolgen kann, sollte m. E. folgendermaßen vorgenommen werden:

- a. einfacher Prolaps ohne Perforation des Faserrings und ohne intradiskale Sequestration des Gallertkerns;
- b. sequestrierter Prolaps mit intradiskaler Sequestration des Gallertkerns, aber noch ohne Perforation des Faserrings;
- c. sequestrierter und perforierter Prolaps;
- d. sequestrierter und perforierter Prolaps mit einem oder mehreren freien Sequestern;
- e. Massenprolaps oder Totalsequester (bei leerem Intervertebralraum).

Die Bandscheibenvorfälle können je nach ihrer Lokalisation im Querschnitt des Spinalkanals differenziert werden in

- a. laterale Vorfälle mit Verdrängung der Wurzel nach medial,
- b. medio-laterale Vorfälle mit Verdrängung der Wurzel nach dorso-lateral und in der Regel auch des Duralsacks nach dorsal,
- c. mediale Vorfälle mit Verdrängung des Duralsacks nach dorsal und nicht selten Kompression beider Wurzeln des betreffenden Segments.

Freie Sequester können je nach ihrer Lokalisation im Spinalkanal ähnliche Wirkungen haben, von einem lateral im Foramen intervertebrale liegenden Sequester mit Kompression nur einer Wurzel bis zu einem medial gelegenen Totalsequester mit Kaudakompression.

Betont werden muß, daß das prolabierte Bandscheibengewebe nie nur Gallertmasse, sondern immer auch Faserringanteile enthält.

5. Ankylose

Im weiteren Verlauf der Altersinvolution der Bandscheibe kommt es schließlich zur fibrösen und teilweise auch knöchernen Ankylose. Mit der Dehydrierung des Gewebes geht eine vermehrte Einlagerung von Knorpelzellnestern und Kalksalzen einher. Zur Kalksalzeinlagerung kommt es unter den chronisch wiederkehrenden Stoßwirkungen auch an den Knorpelplatten der benachbarten Wirbelkörper. Diese werden spröde und brüchig, so daß schließlich im Zuge der Degeneration Bandscheibengewebe auch in die Spongiosa des Wirbelkörpers vordringen kann (die SCHMÖRL'schen Knoten im Röntgenbild). Wichtiger ist jedoch, daß jetzt auch die Gefäße und das Bindegewebe der Wirbelkörperspongiosa Zutritt zum Zwischenwirbelraum bekommen. Auf diese Weise wird das Bandscheibengewebe durch lockeres zellreiches Narbengewebe mit vielen Blutgefäßen ersetzt. Das Gewebe verknöchert, wenn sich auch Osteoblasten ansiedeln (TÖNDURY 1970).

6. Höhenlokalisation

Die Bandscheiben L4/5 und L5/S1 fallen mit annähernd gleichem prozentualen Anteil weitaus am häufigsten vor. Die Angaben in der Literatur stimmen weitgehend überein, wobei viele Autoren das Segment L4/5 noch etwas häufiger betroffen sahen als das Segment L5/S1. Der Unterschied ist allerdings nicht signifikant, mit der Ausnahme von WELLAUER (1961). Sehr viel seltener sind schon Vorfälle in Höhe L3/4 und noch höher gelegene lumbale Bandscheibenvorfälle zählen zu den Raritäten. Im einzelnen sind die Daten von vier Untersuchungen in der Tabelle 1 wiedergegeben. Die Daten von BINGAS (1982) beziehen sich auf die eingangs erwähnten 2411 Bandscheibenoperationen, die in den Jahren 1975 bis 1981 in der neurochirurgischen Abteilung des Berliner Sankt-Gertrauden-Krankenhauses durchgeführt wurden.

BRAUN (1969) konnte anhand statistischer Signifikanzberechnungen bei 584 bzw. 574 Patienten nachweisen, daß das Geschlecht,

Tabelle 1

Höhenlokalisation der lumbalen Bandscheibenvorfälle
(Häufigkeiten in Prozent)

Autoren (n=Fallzahl)	L1/2	L2/3	L3/4	L4/5	L5/S1
WELLAUER (1961) (n=2920)	0,24	0,5	5,0	57,0	37,2
PENZHOLZ et al. (1964) (n=463)	0,22	1,08	4,32	47,73	46,65
SPANGFORT (1972) (n=2504)	0,005	0,2	1,8	47,4	50,5
BINGAS (1982) (n=2411)	0,04	0,48	3,98	49,76	46,5

das Körpergewicht und das Alter der Patienten unabhängig voneinander Einfluß auf die Höhenlokalisation des Bandscheibenvorfalles haben. Bei Männern, Normal- und Übergewichtigen sowie bei Patienten, die älter als 39 Jahre waren, überwogen Vorfälle in Höhe L3/4 oder L4/5. Bei Frauen, Untergewichtigen und Patienten im Alter von 30 bis 39 Jahren überwogen Vorfälle in Höhe L5/S1. Bei noch jüngeren Patienten (unter 30 Jahre) waren die Vorfälle in den beiden Kategorien annähernd gleich verteilt.

C. D I F E R E N T I A L D I A G N O S E

Die Differentialdiagnose der Lumboischialgie umfaßt neben dem Bandscheibenvorfall andere degenerative Wirbelsäulenerkrankungen sowie im weitesten Sinne alle Erkrankungen, die mit einer Affektion der Wurzeln, des lumbosacralen Plexus oder der peripheren Nerven einhergehen. Vonseiten der Wirbelsäule ist vor allem auch an einen engen Spinalkanal oder einen engen Recessus lateralis zu denken. Solche angeborenen oder durch degenerative Veränderungen (osteophytäre Randanbauten, Auftreibungen der Wirbelgelenke) erworbenen Einengungen führen häufig zu Wurzelkompressionen ("Ischias ohne Bandscheibenvorfall", BENINI 1976).

Im Wesentlichen kommen differentialdiagnostisch folgende Erkrankungen infrage:

1. Wirbelsäulenerkrankungen:

- a. Bandscheibenvorfall;
- b. degenerative Veränderungen;
- c. Fehlbildungen;
- d. Tumoren (meist Metastasen, Sarkom, Plasmocytom);
- e. entzündliche Prozesse (Tuberkulose, unspezifische Osteomyelitis, Discitis, auch Lymphogranulomatose, M. Bechterew).

2. Erkrankungen der intraspinalen Weichteile:

- a. Tumoren des Rückenmarks und der Cauda equina (Neurinom, Meningeom, Ependymom, Gliom);
- b. andere Tumoren (Epidermoid und Dermoid, Lipom, Angiom);
- c. epidurales Hämatom;
- d. entzündliche Prozesse (Myelitis, Radikulitis, Zoster, epiduraler Abszeß).

3. Extraspinale Erkrankungen mit Läsion des Plexus lumbosacralis:

- a. Tumoren des Retroperitonealraumes und des Beckens (meist Metastasen);
- b. Psoasabszeß;
- c. strahlenbedingter Plexusschaden.

4. Periphere Nervenläsionen (Meralgia parästhetica, Spritzenlähmungen, Peronäusläsion, Polyneuropathie).

5. Neurologische Systemerkrankungen (Encephalomyelitis disseminata, amyotrophe Lateralsklerose).
6. Orthopädische Erkrankungen ("pseudoradikuläres Syndrom bei Coxarthrose).

Aufgrund der Anamnese, des klinischen Befundes und wichtiger Laborparameter (Blutkörperchensenkungsgeschwindigkeit, Blutbild mit Differentialblutbild, Gesamteiweiß und Elektrophorese, Enzyme) läßt sich meist eine Eingrenzung vornehmen und in vielen Fällen auch schon die Diagnose mit hinreichender Sicherheit stellen. Hilfreich ist in diesem Zusammenhang, wenn man die Häufigkeit der verschiedenen Erkrankungen berücksichtigt. So sind im Bereich der Beine die bandscheibenbedingten Wurzelsyndrome weitaus am häufigsten, gefolgt von Plexusläsionen durch maligne Tumoren, während periphere Nervenläsionen noch sehr viel seltener sind (SCHLIACK 1975).

D. DIAGNOSTIK DES LUMBALEN BAND- SCHEIBENVORFALLS

1. Klinik

Die Klinik des lumbalen Bandscheibenvorfalls beruht auf der mechanischen Nervenwurzelirritation durch den Prolaps. Diese führt über den Ramus dorsalis zu einem lokalen Schmerzsyndrom und über den Ramus ventralis zu den bekannten segmentalen Ausfallmustern der Peripherie.

Es kommt zu einer Bewegungsblockierung und Steilstellung der Lendenwirbelsäule, die auch in einer ausgesprochenen Schonhaltung mit Skoliose fixiert sein kann. Das Ausmaß der Bewegungsblockierung wird durch das SCHOBERSche Zeichen und den Finger-Boden-Abstand angegeben. Ganz charakteristisch ist außerdem der Wurzeldehnungsschmerz, der sich in einem positiven LASEGUESchen Zeichen (evtl. auch gekreuzt auf der Gegenseite) ausdrückt. Das umgekehrte LASEGUESche Zeichen, der sogenannte "Femoralisdehnungsschmerz", soll auf eine Irritation der oberen lumbalen Wurzeln hinweisen. Die VALLEIXschen Druckpunkte über dem Verlauf des N. ischiadicus können ebenfalls einen Schmerz anzeigen.

Das radikuläre Syndrom umfaßt die typische Schmerzausstrahlung, den Reflexbefund sowie Paresen und evtl. Atrophien der Kennmuskulatur und Sensibilitätsstörungen im Bereich des betreffenden Dermatoms. Auf diese Weise kann jeder Nervenwurzel ein Syndrom zugeordnet werden, ohne daß allerdings immer das Vollbild erreicht wird. Nicht selten fehlen Reflexausfälle oder Paresen oder nur ein fehlender Reflex im Zusammenhang mit einem radikulären Schmerz weist auf eine Wurzelläsion hin. Andererseits können die Schmerzen wieder vollkommen zurückgegangen sein und nur die objektiven neurologischen Befunde zeigen ein radikuläres Bild. Immer fehlen vegetative Ausfallserscheinungen, da unterhalb von L2, also in dem hier relevanten Bereich, keine vegetativen Efferenzen mehr an den Grenzstrang abgegeben werden.

Die intakte Schweißsekretion ist geradezu ein verlässliches differentialdiagnostisches Kriterium in der Abgrenzung der Wurzelläsionen gegenüber den Läsionen des Plexus lumbosacralis oder der peripheren Nerven (SCHLIACK et al. 1971; SCHLIACK 1975).

Die seltenen radikulären Syndrome L1 und L2 werden in erster Linie durch ein Schmerzband in der Leistenregion angezeigt. Die entsprechenden Kennmuskeln sind für L1 der M. iliopsoas und für L2 die Mm. iliopsoas, quadrizeps sowie die Adduktoren (KAESER 1965). Der M. quadrizeps und die Adduktorengruppe gehören jedoch ebenso zum Myotom L3 und L4, so daß sie bei isolierten Prozessen der oberen beiden Lumbalwurzeln nicht ausfallen und daher diagnostisch von geringer Bedeutung sind. Bei höheren lumbalen Bandscheibenvorfällen sind aber nahezu immer auch die tiefer abgehenden Wurzeln betroffen, da die Cauda equina den Spinalkanal hier noch fast ganz ausfüllt und raumfordernde Prozesse daher mehrere der steil kaudalwärts verlaufenden Wurzeln tangieren. PÁSZTOR et al. (1981) wiesen anhand von 134 Fällen darauf hin, daß die Klinik bei den höheren lumbalen Bandscheibenvorfällen in der Regel schwerwiegender ist als bei den häufigeren unteren und nannten als Gründe die gewöhnliche mediale Lokalisation, die sie bei ihren Patienten fanden, und eine zu lange durchgeführte konservative Behandlung.

Die übrigen Wurzelsyndrome des Lumbalbereichs lassen sich klinisch wie in Tabelle 2 angegeben abgrenzen (nach MUMENTHALER et al. 1982). Die für den Sensibilitätsbefund wichtigen Dermatome sind in Abbildung 1 (nach Hansen et al. 1962) wiedergegeben. Die jeweiligen Syndrome gehen mit einer Hypalgesie und Hypästhesie in dem betreffenden Dermatome einher.

Meist liegt allerdings kein monoradikuläres Bild vor. Je nach Richtung des Bandscheibenvorfalles können auch mehrere Wurzeln betroffen sein. Ein monoradikuläres Bild entsteht nur bei lateral gelegenen Vorfällen, während bei medio-lateralen oder medialen Vorfällen sowie bei freien Sequestern, die im Spinalkanal luxiert sind, in der Regel zwei oder mehr Wurzeln komprimiert

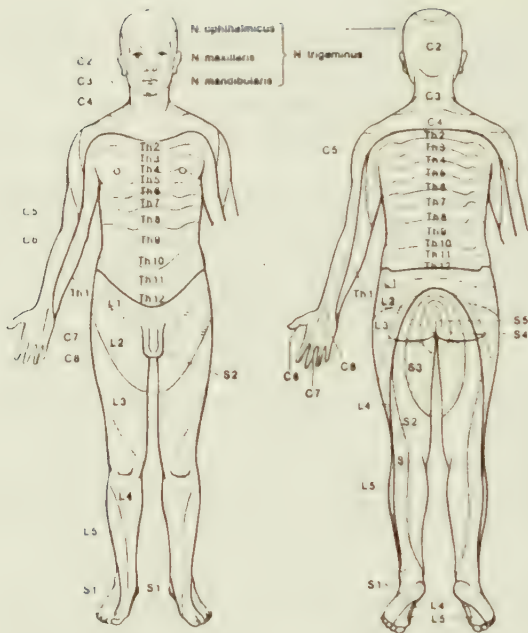


Abb. 128 Die segmentale Innervation der Haut (nach Hansen-Schliack)

Abb. 1: Die segmentale Innervation der Haut (nach HANSEN et al. 1962).

werden. Von den 238 Patienten dieser Untersuchung waren 214 klinisch hinreichend eindeutig einem radikulären Syndrom zuzuordnen. Davon boten nur 77 (36 %) ein monoradikuläres Bild. 119 Patienten (55,6 %) hatten Ausfälle im Bereich zweier, 16 (7,5%) im Bereich dreier und 2 (0,9 %) im Bereich von mehr als drei Nervenwurzeln. Die beiden Patienten mit neurologischen Ausfällen im Bereich von mehr als drei Wurzeln hatten beide einen Massenprolaps in Höhe L2/3 ohne Kaudasyndromatik. Diese Daten relativieren die diagnostische Bedeutung des klinischen Befundes insofern, als eine sichere Höhenlokalisation des Prozesses bei polyradikulären Syndromen nicht mehr möglich ist. Eine solche ist aber präoperativ unbedingt zu fordern.

Tabelle 2

Die radikulären Syndrome

Syndrom mit Der- matom n. Abb. 1	Schmerzausstrahlung	Kennmuskeln (Paresen/ Atrophien)	Kennreflex (Abschwächung/ Ausfall)
L3	Streckseite des Oberschenkels	M. quadri- zeps fem.	PSR, evtl. Adduktorenreflex
L4	Außen- und Vorder- Innenseite d. Unter- schenkel und Fuß- innenrand	M. quadri- zeps fem., M. tibialis anterior	PSR
L5	Vorder-Außen- und Unter- und Fuß- Brücken, Groß- zehe	M. exten- sor hall. longus, M. exten- sor digi- torum brev.	TPoR
S1	Hinter- und Außen- Hinter- und Fuß- außenrand, 3.-5. Zehen	Mm. glutei max. u. med., M. biceps femoris, Mm. peronei, M. triceps surae	ASR

Die Zuverlässigkeit der klinischen Diagnostik in bezug auf die Höhenlokalisation wird in der Literatur unterschiedlich beurteilt. MORINGLANE et al. (1977) konnten in 73,5 % ihrer Fälle klinisch eine richtige Höhenlokalisation vornehmen, die dann operativ bestätigt wurde. Demgegenüber gaben HAKELIUS et al. (1972) eine Treffsicherheit von 46 % und WELLAUER (1961) von 38 % an. SPANGFORT (1972) fand in 21,2 % der Fälle überhaupt

keine neurologischen Veränderungen. Er hat dabei allerdings nur ein neurologisches Defizit in Form einer Reflexveränderung oder einer Parese berücksichtigt. Klinisch ist jedoch auch schon die Lokalisation des radikulären Schmerzbandes bedeutsam und sollte zur Höhenlokalisierung herangezogen werden. ZEITNER (1980) fand nur bei 3 von 110 Patienten (2,7 %) keinen pathologischen neurologischen Befund. Unter unseren 238 Patienten waren die klinischen Befunde in 24 Fällen (10,1 %) für die Höhenlokalisierung unbrauchbar (keine neurologischen Ausfälle und ischialgieforme Schmerzausstrahlung ohne Zuordnung zu spezifischen Dermatomen). Von den verbleibenden 214 Patienten boten, wie bereits erwähnt, 77 (36 %) ein monoradikuläres Bild und wiesen damit auf eine bestimmte Höhenlokalisierung hin. Die betreffende Höhe wurde bei 65 von ihnen operativ bestätigt. Bezogen auf das Gesamtkollektiv von 238 Patienten konnte damit eine richtige Voraussage klinisch nur in 27,3 % der Fälle getroffen werden. Nimmt man jedoch nur die Patienten mit monoradikulärem Syndrom zur Bezugsgrundlage, so ist festzustellen, daß in einem sehr hohen Prozentsatz von 84,4 % (bei 65 von 77 Patienten) klinisch eine richtige Höhenlokalisierung gelang.

Zusammenfassend können wir aufgrund unserer eigenen Daten also sagen, daß der klinische Befund dann, wenn er ein monoradikuläres Syndrom zeigt, von hoher Zuverlässigkeit hinsichtlich der Höhenlokalisierung des Bandscheibenvorfalles ist. Dies war allerdings nur bei gut einem Drittel unserer Patienten der Fall.

Abschließend sei noch auf die akuten Kaudaläsionen eingegangen. Sie sind in der Regel auf einen medialen Massenprolaps zurückzuführen und bedürfen der notfallmäßigen neurochirurgischen Intervention. Das Kaudasyndrom umfaßt in seiner vollen Ausprägung die "Reithosen"-Anästhesie, beidseitige distal betonte Paresen und Reflexausfälle unterhalb des Niveaus der Kaudakompression sowie Blasen- und Mastdarm lähmungen. Die Diagnose bereitet meist keine Schwierigkeiten.

2. Elektromyographie

Die elektrophysiologische Registrierung von Muskelaktionspotentialen vermag im gegebenen Fall eine neurogene Läsion objektiv zu belegen. Wichtigste Denervierungszeichen sind eine pathologische Spontanaktivität in Ruhe und eine Lichtung des Interferenzbildes bei maximaler Willkürinnervation. Die Amplitude der Aktionspotentiale ist dagegen bei neurogenen Läsionen nicht vermindert. Dies erlaubt die Abgrenzung gegenüber myogenen Prozessen.

Die Bedeutung elektrophysiologischer Untersuchungen bei der Diagnostik des Bandscheibenvorfalles ergibt sich aus folgenden zwei Punkten:

1. Neurogene Schädigungszeichen können elektromyographisch auch schon dann faßbar werden, wenn es klinisch noch nicht zu Paresen gekommen ist.
2. Aufgrund der Kenntnis der Innervation der einzelnen Muskeln ist eine Differenzierung von Wurzelläsionen und ihre Abgrenzung gegenüber Läsionen peripherer Nerven möglich.

Damit ist zugleich deutlich, daß es sich nur um eine Zusatzuntersuchung handelt, die in klinisch nicht eindeutigen Fällen hilfreich sein kann. Hier dürfte es sich vor allem um Fälle handeln, in denen Paresen klinisch nicht nachweisbar sind oder aber ihr radikulärer Ursprung fraglich ist. Elektromyographisch kann natürlich nur der Ort einer Läsion bestimmt werden, nicht aber ihre Ursache (z. B. ein Bandscheibenvorfall).

3. Liquordiagnostik

In der Literatur wurden vielfach Eiweißerhöhungen im lumbalen Liquor bei später operativ bestätigten Bandscheibenvorfällen belegt (zit. bei LOEW et al. 1969). Die Häufigkeitsangaben schwanken allerdings in einem weiten Bereich von 16 - 70 %. Dabei dürfte das Ausmaß und die Lokalisation eines Vorfalles die entscheidende Rolle spielen (mediale Vorfälle führen eher

zu einer Eiweißerhöhung als laterale). In jedem Fall ist der Befund unspezifisch. So wurden in einer neueren Untersuchung Eiweißerhöhungen in 85 % der Fälle mit spinaler Stenose (ein Prolaps wurde operativ ausgeschlossen) und nur in 66 % der Fälle mit operativ bestätigtem Bandscheibenvorfall berichtet (TOTH DARU et al. 1982). Dieselben Autoren fanden auch bei älteren Patienten in der Regel erhöhte Eiweißwerte. Differentialdiagnostische Relevanz haben Liquoruntersuchungen sicherlich gegenüber entzündlichen Prozessen und z. T. auch gegenüber Tumoren (Sperrliquor, positiver Queckenstedt-Versuch, evtl. Nachweis von Tumorzellen). Routinemäßig sollte eine Liquorentnahme in der Bandscheibendiagnostik jedoch nur erfolgen, wenn eine Myelographie geplant ist und daher ohnehin punktiert werden muß.

4. Röntgendiagnostik

Die Notwendigkeit von Röntgendiagnostik ergibt sich gerade daraus, daß - legt man unsere oben mitgeteilten Daten zugrunde - nur in einem Drittel der Fälle der klinische Befund hinreichend valide ist, um gegebenenfalls ohne weitere diagnostische Maßnahme zu operieren. Dennoch erfordert die Anordnung einer Röntgenaufnahme eine strenge Indikationsstellung, um eine unnötige Strahlenbelastung zu vermeiden. Die Oberflächendosis einer LWS-Aufnahme liegt bei etwa 1 rd, die Herddosis bei 444 mrd (HALL 1980). Bei Frauen fällt besonders die Gonadenbelastung mit einer Organdosis von 238 - 715 mrd ins Gewicht (HALL 1976). Bei einer lumbalen Myelographie betragen die Oberflächendosis 10 - 15 rd, die Herddosis (Körpermitte) 1100 - 1600 mrd, die Organdosis der Ovarien 107 - 790 mrd und die der Hoden 54 - 79 mrd (HAMMER 1975). Auch die spinale Computertomographie bringt eine relativ hohe Belastung mit einer Oberflächendosis von etwa 5 - 6 rd pro Untersuchung (MEYER et al. 1979; CARRERA et al. 1980 b; CLAUSSEN et al. 1982). STOETER et al. (1982) geben die Gonadenbelastung bei der

spinalen Computertomographie mit 200 - 400 mrd pro Schicht an. Die Computertomographie liegt in der Strahlenbelastung etwas niedriger als die Myelographie, wenngleich die Angaben verschiedener Autoren sich nicht ohne weiteres vergleichen lassen und systematische Arbeiten nicht vorliegen. Diese Daten veranschaulichen aber immerhin die Verantwortung, die der Kliniker bei der Indikation zur Röntgenuntersuchung trägt.

Im folgenden werden die wichtigsten radiologischen Untersuchungsmethoden dargestellt. An erster Stelle steht die Nativaufnahme der Lendenwirbelsäule. Mit ihr sollte die Röntgendiagnostik immer beginnen. Auf sie allein kann sich aber die Prolapsdiagnostik nicht stützen. Von den im weiteren erforderlichen Untersuchungsmethoden wird sicherlich auch heute noch am häufigsten die Myelographie durchgeführt, die daher an zweiter Stelle erörtert wird. Sehr ausführlich wird dann die spinale Computertomographie behandelt, die den Kern dieser Arbeit ausmacht. Es folgen zwei weitere Methoden, die noch gelegentlich Anwendung finden: die spinale Phlebographie und die Diskographie. Weitere Methoden, wie die Myeloszintigraphie und die Peridurographie, sind in der Prolapsdiagnostik heute praktisch bedeutungslos und werden nicht behandelt.

a. Nativaufnahmen

Schon die Nativaufnahme der Lendenwirbelsäule kann auf einen möglichen Bandscheibenvorfall hindeuten. In erster Linie sind die betreffenden röntgenologischen Veränderungen Ausdruck der degenerativen Prozesse am Bewegungssegment. Insofern diese schließlich zu einem Bandscheibenvorfall führen können, kommt auch der Nativdiagnostik indirekt eine gewisse Wertigkeit zu. Pathologische Veränderungen werden aber nur in etwa der Hälfte der Fälle gesehen (zit. n. LOEW et al. 1969). Eine normale LWS-Aufnahme schließt daher einen Bandscheibenschaden nicht aus.

Als indirekte Zeichen eines Vorfalles gelten:

1. Erniedrigung des Zwischenwirbelraumes. Dieser ist im Lumbalbereich normal etwa 10 - 12 mm hoch. Bei degenerativen Bandscheibenveränderungen findet sich häufig, nach der von LOEW et al. (1969) zitierten Literatur in etwa der Hälfte der Fälle, eine Erniedrigung. PIEPGRAS (1977) betont jedoch, daß ein im dorsalen Perforationskanal fixierter Sequester und die reflektorische Abwehrspannung nicht selten sogar zu einer Erhöhung des Zwischenwirbelraums im dorsalen Abschnitt führt ("dorsales Klaffen des Intervertebralraums"). Bei 332 Patienten mit operativ bestätigtem Bandscheibenprolaps fanden demgegenüber WELLAUER et al. (zit. n. WELLAUER 1961) nur in 8 % der Fälle keine Höhenabnahme des Zwischenwirbelraumes.
2. Verschiebungen der Wirbel. Hier werden unterschieden das Drehgleiten in frontaler Richtung, die Pseudospondylolisthesis als Sagittalverschiebung nach ventral und die Dorsaldislokation als Sagittalverschiebung nach dorsal. Diese Veränderungen kommen durch die Gefügelockerung im Bewegungssegment zustande und sind in den Funktionsaufnahmen erkennbar. Hauptsächlich die Dorsaldislokation wird in diesem Zusammenhang häufig gesehen. Durch den Zug der Lig. flava verschiebt sich der über der schadhaften Bandscheibe gelegene Wirbel um einige Millimeter nach hinten. Dadurch kommt es auch zu einer Verengung der Foramina intervertebralia. Von den 332 Patienten der Untersuchung von WELLAUER et al. hatten 22 % eine dem Prolaps entsprechende Dorsaldislokation.
3. Steilstellung. Eine bis zur Aufhebung der physiologischen Lordose reichende Steilstellung der LWS ist auch ohne Prolaps relativ häufig und wurde von WELLAUER (1961) in 48 % der LWS-Aufnahmen von "Nicht-Prolaps-Patienten" gesehen. Bei den "Prolaps-Patienten" (operativ bestätigt) stieg der Anteil der steilgestellten Lendenwirbelsäulen allerdings auf 81 %.
4. Deckplattensklerose. Die degenerativen Veränderungen an den Knorpelplatten der Wirbelkörper sind als Deckplattenverdichtung röntgenologisch erkennbar. Diese Deckplattensklerose bildet im Zusammenhang mit einer Unebenheit der Wirbelflächen und

der Höhenabnahme des Zwischenwirbelraumes das Syndrom der Osteochondrose.

5. Osteophytenbildung.

6. Veränderungen der Zwischenwirbelgelenke, Spondylarthrose.

Da alle diese Veränderungen im Grunde nur einen degenerativen Prozeß beweisen und insofern relativ unspezifisch sind, sollten sie nur sehr zurückhaltend bewertet werden. PIEPGRAS (1977) weist ausdrücklich darauf hin, daß in der Nativdiagnostik im Hinblick auf das Vorliegen eines Bandscheibenvorfalles die bei den Bewegungs-
aufnahmen erkennbare Blockade des Bewegungssegments am aussagekräftigsten ist, wohingegen alle anderen Zeichen degenerativer Veränderungen keine Prolapssymptome seien. In einer erst kürzlich erschienenen Arbeit (STOJANOVIC 1982) wurde eine kritische Größen-
differenz von oberer und unterer Wirbelkörperabschlußplatte (a.-p.-Durchmesser) als "Nativzeichen" eines Vorfalls der darunter liegenden Bandscheibe gewertet (Korrelation mit positiven myelographischen Befunden in 91,4 % der Fälle).

Abgesehen von der Beurteilung der degenerativen Wirbelsäulenveränderungen sollte die Nativdiagnostik jedoch noch aus drei anderen Gründen vor jeder weiteren diagnostischen Maßnahme durchgeführt werden. Erstens geht es darum, einen anderen pathologischen Prozeß auszuschließen. Differentialdiagnostisch ist neben anlagebedingten Mißbildungen vor allem an ein entzündliches oder neoplastisches Geschehen zu denken. Zweitens ist in der a.-p.-Aufnahme die Weite des Spinalkanals erkennbar. Sie wird durch den Abstand der medialen Ränder der orthograd getroffenen Bogenwurzeln angegeben, der im Lumbalbereich normal zwischen 26 und 33 mm liegt. Das Syndrom des engen Spinalkanals gehört zu den differentialdiagnostischen Möglichkeiten in der Ätiologie der Lumboischialgie (VERBIEST 1980). Drittens bietet die Nativaufnahme die Möglichkeit, Normvarianten zu erkennen. Nach WELLAUER (1961) haben nur 40 % aller Menschen eine "normale" Wirbelsäule, während 60 % eine sog. Kranialvariation (20 %) oder Kaudalvariation (40 %) aufweisen. Für die LWS ist diesbezüglich eine Lumbalisation des 1. Sakral-

wirbels (bei der Kaudalvariation) oder eine Sakralisation des 5. Lendenwirbels (bei der kranialvariation) relevant. Das Übersehen einer Normvariante kann zu einer fehlerhaften Bestimmung der Höhenlokalisation führen.

b. Myelographie

Bei der Myelographie handelt es sich um die Darstellung des spinalen Subarachnoidalraumes mittels eines Kontrastmittels, wobei im Falle von Luft als Kontrastmittel ein negativer, im Falle der öligen und der wasserlöslichen Kontrastmittel dagegen ein positiver Kontrast erzeugt wird. Das Verfahren geht historisch auf DANDY (1919) zurück, der als erster Luft in den Subarachnoidalraum insuffliert und dabei auch die Darstellung des Myelons beschrieben hatte: "The spinal subarachnoid space was full of air and in this column of air, the shadow of the spinal cord was very distinct." Auf die historische Entwicklung des Verfahrens wurde in der Einleitung bereits eingegangen. Bei der lumbalen Myelographie kommen heute ausschließlich die modernen wasserlöslichen Kontrastmittel zur Verwendung.

LANGLOTZ (1981) stellt an ein ideales Kontrastmittel folgende Anforderungen:

- Mischbarkeit mit dem Liquor,
- vollständige Resorption,
- Fehlen von neuromeningealer Toxizität,
- pharmakologische Neutralität,
- ausreichender Kontrast.

Die neueren wasserlöslichen Kontrastmittel Metrizamid (1973) und Iopamidol (1981) erfüllen diese Anforderungen weitgehend. Über Metrizamid liegen nunmehr neunjährige Erfahrungen vor. Dieses nicht-ionische, zum Liquor isotone Kontrastmittel gibt in ausreichender Konzentration einen hinreichenden Kontrast und wird zu etwa 60 - 80 % innerhalb von 24 Stunden unverändert mit dem Urin ausgeschieden. 48 Stunden nach Instillation sind nur noch Spuren des Kontrastmittels im Liquor nachweisbar (SKALPE et al. 1978).

Die Nebenwirkungsrate ist im Vergleich zu den früheren wasserlöslichen Kontrastmitteln Methylglukamin-Jothalamat (Conray 60) und dessen Dimer Methylglukamin-Jocarmat (Dimer X) deutlich gesenkt. Dies betrifft vor allem die entzündlichen Adhäsivprozesse im Bereich der Arachnoidea und die epileptogene Wirkung (AHLGREN 1975; AHLGREN 1978; BRADAC et al. 1981). In einer neueren Untersuchung wurde die Bedeutung entzündlicher Veränderungen wieder etwas in den Hintergrund gerückt, da unter den mit Dimer X myelographierten Patienten bei einer Remyelographie nur 5,1 % Zeichen arachnitischer Veränderungen boten, wenn sie nicht operiert worden waren, während dieser Anteil auf 67 % stieg, wenn sie nach der ersten Myelographie operiert worden waren (CLAUSS et al. 1982). Mit Metrizamid wurden solche Veränderungen bisher jedoch nicht beobachtet, so daß dieses Kontrastmittel und neuerdings wohl auch Iopamidol (HAMMER 1981) die Mittel der Wahl sind.

Dabei sollte jedoch eine kritische Dosis, die SKALPE et al. (1978) mit 3 g Jod angeben, nicht überschritten werden. Dieser Dosis entsprechen 10 ml einer Amipaque-Lösung mit einer Jodkonzentration von 300 mg/ml.

Zu den häufigeren Nebenwirkungen zählen Kopf- und Nackenschmerzen, Übelkeit, Erbrechen und Schwindelgefühl, die alle aber auch im Rahmen eines postpunktionellen Syndroms nach jeder Lumbalpunktion auftreten können. Diese Nebenwirkungen treten beim Metrizamid und beim Iopamidol etwa gleich häufig auf (HAMMER 1980; 1981), und zwar nach lumbaler Myelographie bei etwa einem Drittel der Patienten, während sie nach thorakaler oder cervikaler Myelographie häufiger sind (SKALPE et al. 1978). Hirnnervenausfälle (z. B. gelegentlich Abducensparesen) und spinale Symptome werden selten beobachtet (Lit. zit. b. BRADAC et al. 1981). Im Zusammenhang mit dem Eindringen von Metrizamid in die Hirnsubstanz (DRAYER et al. 1977) kann es auch zu passageren organischen Psychosyndromen kommen (RICHERT et al. 1979; SCHMIDT 1980). SARTOR et al. (1979) berichteten in einer Arbeit über die zervikale CT-Myelographie mit Metrizamid, daß sie bei 5 von 54 Patienten (9,26 %) ein einige Tage anhaltendes organisches Psychosyndrom beobachtet hätten.

Bei der lumbalen Myelographie wird das Kontrastmittel nach einer Lumbalpunktion instilliert und verteilt sich relativ rasch im Subarachnoidalraum. Mit konventionellem Röntgenfilm können brauchbare Aufnahmen bis etwa 1 Stunde nach Instillation angefertigt werden (SKALPE et al. 1978).

Die Darstellung erstreckt sich je nach der Klinik auf einen mehr oder weniger weiten Bereich, mindestens aber auf die unteren drei lumbalen Segmente. Ist dort keine Raumforderung nachweisbar, muß, auch wenn kaudale Wurzelsyndrome vorliegen, der thorakolumbale Übergang und der untere Thorakalbereich mit dargestellt werden, damit dort lokalisierte raumfordernde Prozesse, die auch ein kaudaleres radikuläres Syndrom verursachen können, nicht übersehen werden. Zu denken ist hier neben hochgelegenen Bandscheibenvorfällen auch an Tumoren im Bereich des Conus medullaris.

Die möglichst exakte präoperative Diagnostik mittels der Myelographie erfordert die Anfertigung von Aufnahmen in mehreren Ebenen. Routinemäßig sollten neben der a.-p.- und der seitlichen Aufnahme Schräg- und Halbschrägaufnahmen zur Darstellung der rechts- und linksseitigen Wurzelabgänge angefertigt werden. Nur so ist die Gewähr gegeben, daß auch kleinere Sequester, die etwa in der "Achselhöhle" der Wurzeltaschen liegen, nicht übersehen werden. LANGGLOTZ (1981) beschränkt sich für die "gesunde" Seite nur auf eine Schrägaufnahme, nimmt für die "symptomatische" Seite jedoch drei verschiedene Winkeleinstellungen vor. Zusätzlich empfiehlt er Funktionsaufnahmen im lateralen Strahlengang (Ventral- und Dorsalflexion). Nach THRON et al. (1979) ist die Diagnose in den meisten Fällen ohne Funktionsaufnahmen möglich. Oft kann jedoch ein Verdacht durch Funktionsaufnahmen erhärtet werden und in 4 von 72 Fällen (7,8 %) war ein sicherer Befund nur im Funktionsmyelogramm zu erheben. Sicherlich sind Anzahl und Art der Aufnahmen im Einzelfall zu variieren. Beispielsweise ist bei einem kompletten Kontrastmittelstopp im Grunde genommen nur eine einzige Aufnahme erforderlich.

Diagnostische Rückschlüsse können nach den Kriterien von Defekt und Verlagerung gezogen werden. Wichtig ist dabei grundsätzlich auch der Seitenvergleich und die Berücksichtigung von Normvarianten, wie etwa doppelter oder atypisch-stumpfwinkliger Wurzelabgänge oder Wurzeltaschenzysten. (GROBOVSCHEK 1981). Die spinale Raumforderung durch einen Bandscheibenvorfall kann je nach Lage und Größe zu einem Füllungsdefekt der Wurzeltasche und partiell oder total (bei komplettem Stopp) auch des Duralsacks sowie zu einer Verlagerung des Duralsacks oder der Wurzeltasche führen. Nach einer Statistik von LANGLOTZ (1981) anhand von 140 Fällen kommt es in der Regel bei medialen Vorfällen zu einer Kompression des Duralsacks, bei lateralen zu einer Kompression der Wurzeltasche und bei mediolateralen Vorfällen zu einer Kompression beider Anteile des nervösen Fragments. Sehr weit lateral gelegene Prozesse, die die Wurzel distal der Wurzeltasche komprimieren, können dagegen myelographisch nicht dargestellt werden. Auch die Differenzierung der einzelnen Prolapsformen ist schwierig und dürfte nur in einzelnen typischen Fällen gelingen. LANGLOTZ (1981) berichtet, daß von 36 freien Sequestern nur 7 durch ihre Luxation außerhalb des Intervertebralraumes myelographisch sicher als freie Sequester diagnostiziert werden konnten. Umgekehrt lagen nach diesem Bericht von 13 myelographisch als frei sequestriert angesehen Bandscheibenvorfälle nur 7 tatsächlich als freie Sequester vor.

Die Treffsicherheit der Myelographie ist beim Nachweis eines lumbalen Bandscheibenvorfalls im allgemeinen sehr hoch und wird in der Literatur mit über 80 % angegeben. In Tabelle 3 sind einige Arbeiten zusammengestellt, angegeben sind die Treffsicherheit als Übereinstimmung von myelographischem und operativem Befund, die falsch positiven und die falsch negativen myelographischen Befunde (Häufigkeitsangaben in Prozent). Zu berücksichtigen ist, daß die falsch negativen Befunde in Wahrheit noch etwas höher liegen dürften, da es hier naturgemäß eine Dunkelziffer gibt, die daher rührt, daß nicht alle Patienten mit therapieresistenter Klinik trotz fehlenden myelographischen Befundes operiert werden.

Tabelle 3
Treffsicherheit der Myelographie
(Häufigkeitsangaben in Prozent)

Autoren	Anzahl d. Pat.	operativ bestätigte	falsch positive Myelographiebefunde	falsch negative
WELLAUER 1961	483	84,7	3,5	11,8
GURDJIAN et al. 1961		74,4	8,7	16,9
AMUNDSEN et al. 1963		89,2	3,0	7,8
HAKELIUS et al. 1972	1478	83,0	17,0 ^b	
GÖRDES et al. 1974	678	94,2	2,8	3,0
SCHÄFER et al. 1976	841	94,3	0	5,7
MOHSENIPOUR et al. 1977	401	81,8	18,2	0
MORINGLANE et al. 1977	140	95,0	2,9	2,1
ZEITNER 1980	94	94,7	5,3	0
LANGLOTZ 1981	142	98,6	0	1,4
SIMON 1981	854	86,0	2,7	6,8
CLAUSSEN et al. 1982 ^a	26	78,3	4,3	17,4
FRIES et al. 1982 ^a	192	87,5	1,0	11,5
HAUGHTON ET al. 1982 ^a	55	80,0	16,4	3,6
STOETER et al. 1982 ^a	59	79,7 (94,9) ^c	1,7	3,4

^a Autoren, die Myelographie- und Computertomographiebefunde in ihrer Wertigkeit verglichen (siehe Tabelle 4)

^b keine Unterteilung in falsch positive und falsch negative Befunde angegeben

^c in Klammern: sicher positive und fraglich positive Befunde zusammengekommen, vor der Klammer: nur sicher positive Befunde

Ursachen für falsch positive Myelogramme können in einer mangelhaften Untersuchungstechnik mit nur ungenügender Darstellung der Wurzelaschen und dann fehlerhafter Interpretation zu suchen sein, aber auch in der Fehlinterpretation von Impressionen der Kontrastmittelsäule, die auf ossären oder artikulären Veränderungen beruhen. Bei postoperativen Remyelographien ist nicht zuletzt die Differenzierung gegenüber narbigen Veränderungen schwierig und kann zur

fälschlichen Annahme eines Vorfalles führen. Auch bei sorgfältiger Untersuchung und kompetenter Interpretation lassen sich Irrtümer, die auf uneindeutigen Befunden beruhen, nicht immer vermeiden. Schließlich muß bei der Beurteilung und dem Vergleich von Statistiken berücksichtigt werden, daß die Klassifizierung meist nur "positive" und "negative" Befunde vorsieht und die Verdachtsbefunde in der Regel den "positiven" Befunden zugeschlagen werden. Auch bei der Klassifizierung des Operationsbefundes muß eine gewisse Unschärfe in Rechnung gestellt werden, wenn es um die Einordnung von Grenzbefunden geht.

Die genannten Gründe können grundsätzlich aber auch zu falsch negativen Befunden führen, je nach der interpretativen Schlußfolgerung. Hier muß zusätzlich jedoch noch auf andere Faktoren hingewiesen werden, die in den anatomischen Relationen begründet sind. So können bei einem sehr weiten Spinalkanal (SCHIMRIGK et al. 1977) oder bei einem großen ventralen Epiduralraum (SCHÄFER et al. 1976) Bandscheibenvorfälle myelographisch leicht "untergehen". Ein großer ventraler Epiduralraum ist gerade in Höhe L5/S1 häufig anzutreffen. SCHÄFER et al. (1976) fanden, daß bei kleinem Interpedunkularabstand und bei großem Subarachnoidalraum falsch negative Resultate gehäuft auftreten. Auf die Problematik extrem lateral gelegener Vorfälle wurde bereits hingewiesen (vgl. auch ABDULLAH et al. 1974). Schließlich wird in der Literatur auch auf die sogenannten "mobilen" Vorfälle oder "weichen" Bandscheiben hingewiesen, die ein unauffälliges Myelogramm verursachen können (SCHÄFER et al. 1976).

Bei der Durchsicht der Tabelle 3 fällt auf, daß die meisten Autoren mehr falsch negative als falsch positive Befunde angeben. Da die meisten Patienten mit negativen Myelogrammen nicht operiert werden, liegt der wahre Anteil der falsch negativen Befunde sicherlich noch höher. Diese Dunkelziffer belastet natürlich auch die Quote der operativ bestätigten Befunde mit einem Unsicherheitsfaktor. Dennoch ist angesichts der vorliegenden Statistiken mit Treffsicherheiten von über 80 % die Schlußfolgerung berechtigt, daß die Myelographie eine äußerst effiziente Methode in der Diagnostik des lumbalen Bandscheibenvorfalles ist.

c. Computertomographie

aa. Grundlagen

Die technischen Grundlagen der Computertomographie gehen auf HOUNSFIELD (1973) zurück. Sie beruhen auf einer Kombination der modernen Meß- und Computertechnik mit der Röntgentomographie, die in ihrer konventionellen Form seit den zwanziger Jahren bekannt ist. Die konventionellen Schichtaufnahmen liefern statt eines Summationsbildes räumlich in definierten Ebenen parallel zueinander liegende Bildschichten. Diese Technik war beispielsweise Voraussetzung für die Anfertigung brauchbarer Luftmyelogramme und ist, was die spinale Diagnostik angeht, heute vor allem bei der cervikalen Myelographie unerlässlich.

Im Jahre 1947 wurde unabhängig voneinander von VALLEBONA und von FRAIN und LACROIX ein Verfahren entwickelt, das mit Hilfe der Schichtaufnahmetechnik auch die Anfertigung von Querschnittsbildern erlaubte (transaxiale Tomographie). Erst 1974 wurde die Bedeutung dieses Verfahrens für die spinale Diagnostik erkannt (GARGANO et al. 1974). Dabei waren Röntgenröhre und Filmkassette an den gegenüberliegenden Enden eines exzentrischen C-förmigen Armes angebracht, der in einem Bogen von 210 Grad um die Längsachse des Patienten (bzw. seiner darzustellenden Wirbelsäule) kreiste (sog. TOSHIBA-Tomographieeinheit). Die so erhaltenen Querschnittsschichten gaben freilich nur die knöchernen Strukturen wieder. Ihre diagnostische Relevanz lag somit auf dem Gebiet der traumatischen, degenerativen und entzündlichen Veränderungen der Knochenstruktur und insbesondere dem der spinalen Stenose (JACOBSON et al. 1975). Dieses Verfahren, das noch ausschließlich auf der klassischen Röntgentechnik beruhte, wurde jedoch durch die Entwicklung der Computertomographie rasch überholt. Dabei handelt es sich durch die Verwendung neuer Technologien - hochempfindlicher Detektorsysteme und der elektronischen Datenverarbeitung - um eine ganz neue Qualität der Abbildung.

Bei der Computertomographie wird der Patient in einer definierten Ebene und aus einer Vielzahl von Einfallswinkeln von Röntgen-

strahlen durchstrahlt, die dann auf jeweils gegenüberliegende hochempfindliche Detektoren treffen. Die gemessenen Werte der Strahlenabsorption werden digital chiffriert und gespeichert. Aus der Vielzahl der Meßwerte aus den unterschiedlichen Einfallswinkeln lassen sich für eine definierte Anzahl von Volumenelementen der betreffenden Schicht individuelle Werte errechnen, die sich in Grautonabstufungen bildlich darstellen lassen und damit ein differenziertes Bild ergeben. Diese Bildkonstruktion ist die Leistung des Computers. Je größer die Anzahl der individuell definierbaren Volumenelemente und je kleiner ihr Volumen ist, umso höher ist das räumliche Auflösungsvermögen, da dann die Dichtestruktur innerhalb eines Volumenelements relativ homogen ist. Eine wesentliche Rolle spielt dabei das Detektorsystem, dessen hohe Differenziertheit Voraussetzung für ein hohes Auflösungsvermögen ist. Dichteunterschiede innerhalb eines Volumenelements führen zu einer ungenauen Darstellung, da sich dann hinter dem Dichtemittelwert für das betreffende Volumenelement eine relativ heterogene Dichtestruktur verbirgt. Dies ist vor allem an Strukturgrenzen und grundsätzlich bei Strukturen, die im Durchmesser kleiner als die Schichtdicke sind, der Fall ("partial volume effect").

Die Grautonabstufungen der Volumenelemente werden als Dichtewerte angegeben. Diese sind durch Konvention auf einer willkürlichen Skala angeordnet, auf der der Wert 0 der Dichte von Wasser, der Wert -1000 der Dichte von Luft und der Wert +1000 der Dichte des Knochens entspricht (Skala der HOUNSFIELD-Einheiten, HE).

Die Bildwiedergabe kann zusätzlich durch Filterung der errechneten Dichtewerte bei der Zuordnung zu einem Grauton manipuliert werden. Dies geschieht durch die "window"- und "level"-Einstellungen. Die Fenstereinstellung ("window width") gibt den Dichtebereich (in HE) an, den die vorhandene Grautonskala repräsentiert. Je größer das Fenster gewählt wird, umso mehr Dichtewerte werden durch einen Grauton repräsentiert, umso undifferenzierter ("weicher") ist also das Bild. Die "level"-Einstellung ("window center") gibt

den Dichtewert an, um den das gewählte Fenster gruppiert ist. Dies ist sinnvollerweise der Wert, der der darzustellenden Struktur entspricht bzw. in der Mitte mehrerer darzustellender und unterschiedlich dichter Strukturen liegt.

In der nun zehnjährigen Geschichte der Computertomographie wurden inzwischen mehrere Gerätegenerationen entwickelt, die sich in der Anordnung der Röntgenröhre und der Detektorsysteme unterscheiden. Dadurch wurden wichtige Parameter wie die Scanzeit und das Auflösungsvermögen verbessert.

Geräte der 1. Generation: Rotations-Translations-Scanner mit einem Einzeldetektor. Es gibt nur einen, der Röntgenröhre gegenüberliegenden Detektor. Röhre und Detektor kreisen in disparaten Winkeleinstellungen um den Körper des Patienten und vollziehen in jeder Winkeleinstellung eine Translationsbewegung über den Körper.

Geräte der 2. Generation: Rotations-Translations-Scanner mit einem Detektorsystem. Das Detektorsystem umfaßt bis zu 50 Detektorzellen, die wiederum der Röntgenröhre gegenüberliegen und von einem ganzen Bündel Röntgenstrahlen getroffen werden. Rotations- und Translationsbewegungen werden wie bei den Geräten der 1. Generation ausgeführt, die Anzahl der Winkeleinstellungen kann aber aufgrund der Fächerung der Strahlen reduziert werden. Damit verkürzt sich die Scanzeit ganz erheblich.

Geräte der 3. Generation: Rotations-Scanner mit beweglichem Detektorsystem. Der Röntgenröhre steht ein System von bis zu 600 Detektoren gegenüber, das von einem breiten Fächerstrahl getroffen wird und sich mit der Röhre um den Körper des Patienten dreht. Auf Translationsbewegungen kann wegen der Breite des Fächerstrahls, die den ganzen Körper zu erfassen vermag, verzichtet werden. Dadurch wird nochmals eine erhebliche Verkürzung der Scanzeit erreicht.

Geräte der 4. Generation: Rotations-Scanner mit stationärem Detektorsystem. Das erweiterte Detektorsystem bildet einen Ring

und umfaßt die gesamte Gantryöffnung. Nur die Röhre kreist um den Körper, der wieder in seiner Gesamtheit von einem breiten Fächerstrahl durchstrahlt wird.

Neben der Verbesserung der Datenaufnahmetechnik hat sich auch der Datenverarbeitungsbereich durch die Einführung neuer Computerprogramme weiterentwickelt. Die modernen soft-ware-Techniken erlauben heute eine sehr diffizile sekundäre Datenverarbeitung, so daß sich die Computerleistung nicht mehr in der Konstruktion eines Originalschichtbildes erschöpft. Als relevantes Beispiel sei die Rekonstruktion der Daten in coronaren oder sagittalen Ebenen sowie neuerdings auch in schrägen und gekrümmten Flächenprojektionen genannt.

Durch ultrakurze Scanzeiten wurden dynamische CT-Studien ermöglicht, die beispielsweise den Kontrastmitteldurchfluß in einer bestimmten Schicht zeigen. Diese Studien könnten in der Zukunft für die computertomographische Klassifizierung von Tumoren von Bedeutung sein.

Die Entwicklung ist mit der 4. Generation keineswegs abgeschlossen. Inzwischen existieren schon Prototypen einer 5. Generation, die das Auflösungsvermögen weiter verbessern und auch bisher nicht oder nicht sicher differenzierbare Strukturen darstellen können.

bb. Störfaktoren

Die recht komplizierte Technik der Computertomographie beinhaltet eine Reihe von Fehlermöglichkeiten, die über die auch in der konventionellen Röntgenologie relevanten Faktoren der geometrischen Unschärfe, des Quantenrauschens, der Streustrahlung und der Bewegungsunschärfe weit hinausgehen. So lassen sich für die beiden Bereiche der Röntgeneinheit (Abtasteinheit) und der Computereinheit (Bildrekonstruktion und sekundäre Bildverarbeitung) im wesentlichen folgende Störmöglichkeiten zusammenstellen (modifiziert nach WEGENER 1980 und SCHULTZ et al. 1982):

1. Abtasteinheit

- ungleichmäßige Bewegungsabläufe der beweglichen Systeme
- inkonstante Röhrenspannungen
- spektrale Strahlenhärtung (Aufhärtungsartefakte)
- Abweichung des Strahlenprofils von der Rechteckform
- Eigenschaften des Detektorsystems und der Verstärkerkette (Eingangsflächen, Zwischenräume, Empfindlichkeit und Abgleichung der Detektoren), verantwortlich z. B. für Ringartefakte

2. Computereinheit

- elektronisches Rauschen
- Unvollkommenheit des Bildaufbaualgorithmus
- Korrekturprogramme
- "High density streaking" bei hohen Kontrasten
- Dichteunterschiede in einem Volumenelement ("partial volume effect")

Auf der Seite des Patienten sind im wesentlichen zwei Störmöglichkeiten zu nennen:

- Strahlungsartefakte durch Fremdkörper (z. B. Metallklips, Geschosßfragmente, Schmuck, Zahnfüllungen etc.)
- Bewegungsartefakte (willkürliche und unwillkürliche Muskelaktivität, Peristaltik, Atmung, Herzschlag)

Während sich die Artefakte durch "körpergebundene" Fremdkörper bisher kaum beeinflussen ließen, konnte man den Bewegungsartefakten durch eine Senkung der Scanzeiten begegnen. Mit den modernsten Geräten sind ultrakurze Scanzeiten von weniger als 50 msec möglich, mit denen ein erfolgreicher Einsatz der Computertomographie beispielsweise auch in der Herzdiagnostik gelingt. ALFIDI et al. (1976) hielten im Interesse der Bildqualität allgemein eine Senkung der Scanzeiten auf 2 sec oder weniger für wünschenswert, eine Bedingung, die somit erfüllt wäre. Die meisten heute in Betrieb stehenden Geräte haben allerdings noch deutlich längere Scanzeiten. Abgesehen von einem absoluten Bewegungsverbot müssen daher Ganzkörperuntersuchungen bei Atemstillstand durchgeführt werden.

cc. Spinale Computertomographie

Voraussetzung für die spinale Computertomographie ist die Entwicklung von hochauflösenden Ganzkörpertomographen. Dabei reichte es nicht aus, nur die Gantryöffnung zu vergrößern, so daß der ganze Körper hindurchpaßte, sondern es mußte das Scan-System selbst verfeinert und die Scan-Zeit verkürzt werden. Nicht zuletzt stieg das Auflösungsvermögen mit der Ermöglichung sehr dünner Schichten, die dem Teilvolumeneffekt entgegenwirkten. Damit konnte den differenzierten anatomischen Strukturen des Thorax und des Abdomens Rechnung getragen werden.

Die ersten Berichte über Untersuchungen mit Ganzkörpercomputertomographen erschienen Mitte der 70er Jahre und betrafen in erster Linie die Organe des Abdomens (STANLEY et al. 1976). SCHELLINGER et al. (1975) berichteten über erste Erfahrungen mit einem Ganzkörpercomputertomographen anhand von 193 Patienten. 75 % der Untersuchungen betrafen noch den cranialen Bereich (!) und nur 25 % andere Bereiche. Die thorakalen und abdominalen Bilder zeigten die Wirbelsäule, aber kein Rückenmark. Der Spinalkanal erschien in diesen Querschnittsbildern in seiner homogenen Hypodensität als ein "leeres" Loch. Von einigen Autoren wurde zu diesem Zeitpunkt jedoch auch schon auf eine mögliche Bedeutung der Computertomographie für die spinale Diagnostik hingewiesen. So wurden bereits in der Einleitung die ersten computertomographischen Abbildungen des Rückenmarks durch ALFIDI et al. (1975a) sowie die frühen Arbeiten über Syringomyelie, Diastematomyelie und ossäre Anomalien hingewiesen. Andererseits war das Auflösungsvermögen aber noch so gering, daß Zweifel an der Verlässlichkeit der Abbildungen geäußert wurden. SHEEDY et al. (1976) berichteten u. a. über 17 Rückenmarksuntersuchungen von insgesamt 400 Ganzkörperuntersuchungen und meinten, "... there is serious doubt whether the cord is reliably imaged. The noise levels present in the bony spinal canal on the fast scan tend to obscure the discrete margins of the cord itself."

Bessere Ergebnisse konnten in der spinalen Diagnostik erst durch Geräte mit höherem Auflösungsvermögen erzielt werden (KASKIN 1980; SARTOR 1980a). Dabei war die Kontrastauflösung im Wirbelkanal jedoch größtenteils noch unbefriedigend. Die Dichtestruktur war im Cervikal-, Thorakal- und auch noch im oberen Lumbalbereich homogen. Zur Kontrastierung wurde daher ein wasserlösliches Kontrastmittel intrathekal injiziert (ISHERWOOD et al. 1977; OBERSON et al. 1977; ARII et al. 1980; SCHOETER et al. 1980). Nach lumbaler Injektion konnte noch Stunden später, wenn die konventionelle Röntgenaufnahme kein Kontrastmittel mehr zeigte, im CT ein guter Kontrast auch thorakal und zervikal erzielt werden (DI CHIRO et al. 1976b). THIJSSSEN et al. (1979) konnten mit einem Gerät der zweiten Generation durch diese sog. computer-assistierte Myelographie die Morphologie des Halsmarks darstellen und extra- von intramedullären Tumoren differenzieren.

SARTOR (1980a) berichtete über erste Erfahrungen mit der spinalen Computertomographie bei über 200 Patienten. Bei etwa der Hälfte seiner Patienten war Kontrastmittel intrathekal gegeben worden, wobei sehr geringe Konzentrationen für eine kräftige Kontrastierung ausreichten. Dabei konnten Lage, Konfiguration und Durchmesser des Rückenmarks, des kontrastierten Subarachnoidalraumes und des Epiduralraumes gut beurteilt werden. Auch kleinere Strukturen wie z. B. die Aa. vertebrales am Foramen magnum und die Nervenwurzeln kamen oft zur Darstellung. In einigen Fällen, in denen das CT ohne subarachnoidal gelegenes Kontrastmittel durchgeführt wurde, konnte durch intravenöse Kontrastmittelapplikation eine bessere Kontrastierung durch Dichtezunahme von Rückenmark und Epiduralgewebe bei gleichbleibender Dichte des Subarachnoidalraumes erreicht werden. Die mit Hilfe der spinalen Computertomographie erhobenen Befunde betrafen Tumoren sowie degenerative und traumatische Veränderungen des Rückenmarkes und der Wirbelsäule. Dem Nativ-CT waren lediglich extraspinale (paravertebrale) Tumoren, Form- und Strukturveränderungen des Achsenskeletts sowie auch intraspinale Tumoren extrem hoher oder niedriger Dichte bzw. großen Gefäßreichtums zugänglich (SARTOR 1980c). So konnten im

Thorakalbereich, in dem die CT-Nativdiagnostik wegen des relativ kleinen, vom Myelon ganz ausgefüllten Spinalkanals besonders schwierig ist, ohne Kontrastmittel beispielsweise hyperdense Meningeome (MEMON et al. 1981) und thorakale Bandscheibenvorfälle (HOCHMAN et al. 1980; TAHMOURESIE et al. 1980) diagnostiziert werden.

dd. Darstellung ossärer Veränderungen

Die Bedeutung der spinalen Computertomographie lag zunächst in erster Linie auf dem Gebiet der ossären Veränderungen. Die knöcherne Struktur der Wirbelsäule wird computertomographisch im Querschnitt exakt dargestellt. Dabei werden nicht nur Wirbelkörper, Wirbelbogen, Quer- und Dornfortsätze, sondern durch entsprechende Schichtlokalisationen auch die kleinen Wirbelgelenke abgebildet. Ein konstitutionell enger Spinalkanal, Einengungen durch degenerative Randausbauten oder Auftreibungen der Wirbelgelenke, Frakturfragmente, Osteolysen und entzündliche Veränderungen des Knochens können direkt erkannt werden.

Es war bereits darauf hingewiesen worden, daß erst in der ersten Hälfte der siebziger Jahre eine schon früher entwickelte Schichtaufnahmetechnik, die konventionell-röntgenologische Querschnittsaufnahmen ermöglichte (transaxiale Tomographie), auch in der spinalen Diagnostik Anwendung fand, jedoch durch die Entwicklung der Computertomographie schnell überholt wurde. Dabei konnte es sich nur um die Diagnostik ossärer Veränderungen im Rahmen degenerativer oder traumatischer Prozesse oder der konstitutionellen Stenose des Spinalkanals handeln. Vergleichsuntersuchungen zeigten eindeutig die Überlegenheit der Computertomographie gegenüber der TOSHIBA-Technik (DONOVAN POST et al. 1978), wenn gleich in der "Weichteildiagnostik" zunächst immer noch der Myelographie der Vorzug gegeben wurde. Immerhin konnten DONOVAN POST et al. (1978) schon zwei Bandscheibenvorfälle im CT diagnostizieren.

Aus technischen Gründen, in erster Linie wegen des Teilvolumen-effektes, wurde eine exakte Größenbestimmung des Wirbelkanal-querschnitts mit den Scannern der ersten Generationen nicht für möglich gehalten (KLUMAIR et al. 1980). So hielten auch CIRIC et al. (1980) in einer Übersichtsarbeit über das Syndrom des Recessus lateralis die Computertomographie zwar für "the easiest and best way" zur Darstellung einer Stenose des Recessus lateralis. Eine exakte Größenbestimmung sei aber nur durch laterale und transaxiale Tomogramme möglich. SEIBERT et al. (1981) wiesen am Beispiel der Größenbestimmung des Rückenmarks auf die Bedeutung des gewählten "window center" hin. Schließlich erlaubt die technische Entwicklung der Computertomographie inzwischen eine hinreichend genaue Messung von Objektgrößen.

Über die Wertigkeit der Computertomographie in der Diagnostik der konstitutionellen und der erworbenen (degenerativ oder posttraumatisch) Stenose des Spinalkanals erschienen in den letzten Jahren zahlreiche Arbeiten, die belegen, daß die Computertomographie durch die exakte Darstellung des Wirbelquerschnittes prinzipiell die optimale diagnostische Methode auf diesem Gebiet ist (SHELDON et al. 1977; COLLEY et al. 1978; LEE et al. 1978; VERBIEST 1979; ULLRICH et al. 1980; WACKENHEIM et al. 1980; YAMAMOTO et al. 1980; MIKHEAL et al. 1981; RASKIN 1981a; GALANSKI et al. 1982; GELDERMAN 1982; LACKNER et al. 1982). Dabei wurden teilweise auch anhand von Normalkollektiven Normalwerte für den antero-posterioren und den interpedunculären Durchmesser des Spinalkanals (LEE et al. 1978; ULLRICH et al. 1980) sowie für die Tiefe des Recessus lateralis (MIKHAEL et al. 1981) angegeben, die mit den aus konventionellen Röntgenaufnahmen gewonnenen Daten weitgehend übereinstimmen. Darüberhinaus sind aber nicht nur quantitative Daten erhältlich. Die Relevanz der Computertomographie ergibt sich gerade auch aus dem qualitativen Aspekt der Abbildung der Konfiguration des Spinalkanals und der räumlichen Anordnung pathologischer Prozesse, die dezidierte differentialdiagnostische Aussagen erlaubt und nicht zuletzt für die Operationsplanung von besonderer Wichtigkeit ist.

Bei Wirbelsäulentraumen wird nach Anfertigung der konventionellen Röntgennativaufnahme von einigen Autoren der gezielte Einsatz der Computertomographie im Bereich der Fraktur befürwortet (BRANT-ZAWADZKI 1981). Dabei können selbst kleinere Absprengungen von den hinteren und vorderen Wirbelkörperkanten mit transversaler Fragmentverlagerung und vertikal verlaufende Frakturen erkannt und die Fragmente genau lokalisiert werden (SARTOR 1980b). Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus der gleichzeitigen Beurteilbarkeit paravertebraler Weichteilverletzungen und durch die Untersuchungstechnik, die keine Umlagerungen des Patienten erfordert.

cc. Darstellung des spinalen Weichteilgewebes im Lumbalbereich

Eine differenziertere Darstellung der Weichteilstrukturen des Spinalkanals gelang erst mit der Entwicklung hochauflösender CT-Geräte, wie sie ab der dritten Generation zur Verfügung standen. Diese Entwicklung hatte unmittelbare Auswirkungen auf die Bandscheibendiagnostik, die sich damit zu einer "Domäne der spinalen Computertomographie" mauserte, wie KAZNER (1981) in einer Übersicht über die Bedeutung der Computertomographie für die Neurologie und Neurochirurgie schrieb.

Bei hohem Auflösungsvermögen erwies sich vor allem im Lumbalbereich die intrathekale Kontrastmittelapplikation als entbehrlich (NAIDICH et al. 1980). SCHROEDER et al. (1980) führten in ihrer Übersicht über 85 Patienten den Prolapsnachweis zwar in der Regel noch über das computer-assistierte Myelogramm, zeigten in 7 Fällen aber schon den Prolaps bzw. die Protrusion im Nativ-Scan.

Die klassische Arbeit von HAUGHTON et al. (1980) über Untersuchungen mit einem Gerät der dritten Generation an 50 Patienten und 5 Leichen demonstrierte Rückenmark, Duralsack, Spinalnerven und -ganglien (vgl. auch RASKIN 1981b), Venen, die A. vertebralis im oberen Cervikalbereich (nicht hingegen die A. spinalis anterior), das Ligamentum longitudinale posterior, das Ligamentum flavum, das epidurale Fett und das Bandscheibengewebe. Das Innere der Bandscheibe erschien weniger dicht als die Peripherie, wobei es

sich teilweise jedoch auch um ein Artefakt handeln dürfte. Bei Kontrastmittelinjektion in den Nucleus pulposus konnte dieser deutlich vom Faserring differenziert werden. Im Nativscan soll degeneriertes Gewebe eine geringere Dichte aufweisen. Die als Vakuumphänomen bekannten Hohlräume in degeneriertem Bandscheibengewebe sind im CT ebenfalls sichtbar und in Zusammenhang damit wurde gelegentlich auch freies Gas im Spinalkanal gefunden (GULATT et al. 1980). HAUGHTON et al. (1980) hatten in einigen Fällen Kontrastmittel intrathekal oder intravenös verabreicht, die erwähnten Strukturen waren immer aber auch in den Nativscans differenzierbar. Im Hinblick auf die Bandscheibendiagnostik ist dabei nicht nur die Darstellung der Bandscheibe selbst von Bedeutung, sondern ebenso auch die der anderen Strukturen des Spinalkanals. Aus deren Verlagerung und Asymmetrie sind oft wichtige Rückschlüsse möglich. Darauf wird im einzelnen noch im zweiten Teil eingegangen werden.

Die differenzierte Darstellung der Strukturen des Spinalkanals ermöglicht ebenso eine differentialdiagnostische Beurteilung raumfordernder Prozesse. So lassen sich Bandscheibenvorfälle und spinale Tumoren weitgehend voneinander unterscheiden. Dabei spielt gerade das strukturelle Bild eine große Rolle. Erst in zweiter Linie sind eventuelle Dichteunterschiede von Bedeutung. Eine hohe Spezifität der Dichte ist ohnehin nicht wahrscheinlich, da einerseits Tumoren die gleiche Dichte wie Bandscheibengewebe haben können (MEYER et al. 1979) und andererseits die Dichte des Bandscheibengewebes je nach dem Stadium der Degeneration doch sehr streut.

FEDERLE et al. (1980) berichteten über zehn Fälle spinaler Tumoren, die mit Hilfe konventioneller Röntgenuntersuchungen einschließlich der Myelographie nicht befriedigend geklärt werden konnten und teilweise als Bandscheibenvorfall fehlbeurteilt wurden. Wir konnten bereits aus eigener Erfahrung einen ähnlichen Fall mitteilen (PETERS et al. 1982). Es handelte sich dabei um eine Patientin mit einem im CT eindeutig gesicherten und operativ bestätigten Neurinom der Wurzel L 5, das myelographisch ebenfalls

als Bandscheibenvorfall fehlgedeutet worden war. Auch LUKEN et al. (1981) betonten die differentialdiagnostische Ergiebigkeit der Computertomographie bezüglich der spinalen Raumforderungen. Bei zwei ihrer Patienten mit einem Chordom bzw. einem Neurofibrom im Sakralbereich wurde myelographisch ein Prolaps diagnostiziert. Einer ihrer Patienten hatte eine Meningocele, die im Computertomogramm gut zur Darstellung kam. In seltenen Fällen kann es auch nach Bandscheibenoperationen zu Meningo- bzw. Pseudomeningocelen kommen (BINGAS et al. 1973). LOCHNER et al. (1982) berichteten über die computertomographische Darstellung solch einer postoperativen Pseudomeningocele. REISER et al. (1980) sahen nach einer Myelographie und anschließender Bandscheibenoperation im CT eine intradurale Liquorzyste.

Schwierig ist die Differenzierung postoperativen Narbengewebes von einem möglichen Prolapsrezidiv (SALVOLINI et al. 1981). Gelegentlich hilft auch hier die Beachtung der charakteristischen Struktur weiter. So spricht ein im Vergleich zum Duralsack leicht hyperdenses Band, das sich lateral von dorsal (der Stelle des operativen Zugangs) nach ventral (evtl. bis an die hintere Wirbelkörperbegrenzung) erstreckt, für Narbengewebe. Oft ist die Differenzierung jedoch nicht sicher möglich. In letzter Zeit wurde in diesem Zusammenhang über die Bedeutung intravenöser Kontrastmittelapplikation diskutiert, die bei Narbengewebe zu einem positiven Enhancement führen soll, während die Dichte des Bandscheibengewebes unverändert bleibt. SCHUBIGER et al. (1982) konnten auf diese Weise bei 36 Patienten eine sichere Unterscheidung treffen, die operativ bestätigt wurde. RAININKO et al. (1982) beobachteten nach intravenöser Kontrastmittelapplikation bei 2 von 5 Patienten mit einem Bandscheibenvorfall ein umschriebenes ringförmiges Enhancement in der den Prolaps umgebenden Grenzzone, dessen Genese noch unklar ist. Um Narbengewebe konnte es sich nicht handeln, da die Patienten nicht voroperiert waren. Möglicherweise liegen trophische Störungen zugrunde. V. a. ist aber fraglich, welches Gewebe sich überhaupt anreicherte, ob es sich um einen Randbezirk des Vorfalls selbst oder um ihn umgebendes Gewebe handelte.

Gesicherte Aussagen zum Dichteverhalten nach intravenöser Kontrastmittelgabe können z. Zt. nicht gemacht werden.

ff. Diagnostische Wertigkeit der Computertomographie in der Bandscheibendiagnostik

Die Bandscheibendiagnostik war von Anfang an ein hervorragendes Gebiet der spinalen Computertomographie sowohl im Rahmen der sog. computer-assiierten Myelographie (COIN et al. 1977) als auch vor allem der späteren hochauflösenden Nativdiagnostik (MEYER et al. 1979). Inzwischen liegen eine Reihe von Arbeiten vor, die die Aussagekraft der Computertomographie anhand der entsprechenden operativen Befunde belegen (Tabelle 4).

Tabelle 4
Treffsicherheit der Computertomographie
(Häufigkeitsangaben in Prozent)

Autoren	Anzahl d. Pat.	operativ bestätigte	falsch positive	falsch negative
C T - B e f u n d e				
CARRERA et al. (1980b)	29	96,6	3,4	-
LACKNER et al. (1980)	13	76,9	-	23,1
WILLIAMS et al. (1980)	16	100	-	-
MÜLLER et al. (1981)	40	92,5	-	7,5
z. NEDDEN et al. (1981)	98	92,3	7,7	-
JUNGES et al. (1981;1982)	6;20	100	-	-
BINGAS et al. (1982)	154	88,4	5,8	5,8
CLAUSSEN et al. (1982)	26	84,6	3,9	11,5
FRIES et al. (1982)	227	90,7	2,2	7,1
HAUGHTON et al. (1982)	55	83,6	14,6	1,8
SACHSENHEIMER et al. (1982)	36	97,2	-	(2,8) ^a
STOETER et al. (1982)	77	76,5 (93,8) ^b	2,5	3,7

^a Diese Häufigkeitsangabe bezieht sich auf "unsichere" Befunde

^b In Klammern: sicher positive und fraglich positive Befunde zusammengenommen, vor der Klammer: nur sicher positive Befunde

Die mitgeteilten Daten zeigen, daß die spinale Computertomographie eine aussagekräftige Untersuchungsmethode in der radiologischen Bandscheibendiagnostik ist. Ihre Treffsicherheit unterscheidet sich nicht signifikant von derjenigen der Myelographie, wie ein Vergleich der Tabellen 3 und 4 zeigt. Wie bei der Myelographie fällt auch hier auf, daß die Quote der falsch negativen Befunde meist höher ist als die der falsch positiven Befunde. Viele Autoren teilen jedoch keine falsch negativen Befunde mit und bei HAUGHTON et al. (1982) hatten diese nur eine Häufigkeit von 1,8 %. Dies mag damit zusammenhängen, daß ohne radiologischen Befund meistens nicht operiert wird. Möglicherweise liegt hierin auch der Grund für die besonders guten Ergebnisse von WILLIAMS et al. (1980) und JUNGES et al. (1981 u. 1982) mit jeweils 100-prozentigen Trefferquoten: bei ihren kleinen Operationskollektiven könnte es sich gerade um die Patienten mit den eindeutigsten CT-Befunden handeln. Die Vermutung ist berechtigt, daß es wie bei der Myelographie eine gewisse Dunkelquote falsch negativer Befunde gibt. Bei den 23,1 % falsch negativer Befunde von LACKNER et al. (1980) handelt es sich um 3 von 13 Bandscheiben-CTs, die als normal befundet wurden. Die betreffenden Patienten wurden schließlich aufgrund eines positiven Myelographiebefundes operiert.

Gründe für falsch negative Befunde sind neben einer fehlerhaften Beurteilung darin zu suchen, daß nicht das richtige Segment oder ein nicht ausreichender Abschnitt des betreffenden Segments dargestellt wurden oder daß der Patient sich im Laufe der Untersuchung bewegt hat und infolgedessen die Schichten den darzustellenden Bereich nicht mehr lückenlos erfassen bzw. in einen ganz anderen Bereich verschoben sind. Falsch positive Befunde beruhen fast immer auf einer Fehldeutung von Protrusionen, dorsalen Osteophyten, gestauten Venen oder asymmetrisch geschnittenen bzw. verdickten Wurzeln. Postoperativ können Verwachsungen zu Fehldeutungen führen. Selten werden Tumoren mit einem Prolaps verwechselt. Theoretisch wäre auch an Operationsfehler, z. B. eine Operation in falscher Höhe oder Übersehen eines freien Sequesters zu denken.

In einer retrospektiven Analyse von 310 computertomographischen Untersuchungen der Lendenwirbelsäule (davon waren 123 Patienten zusätzlich myelographiert und 86 Patienten operiert worden) unterschieden WEISS et al. (1983) formal untersuchungstechnisch bedingte Irrtumsmöglichkeiten von den im Untersuchungsobjekt liegenden Schwierigkeiten. Zu den technisch bedingten Irrtumsmöglichkeiten zählen sie eine ungeeignete Wahl der Grautonrepräsentation ("window center"- und "window width"-Einstellung), eine zu große Schichtdicke, eine nicht ausreichende bzw. lückenhafte Erfassung des betreffenden Segments, Anschnittphänomene (bei nicht-bandscheibenparalleler Schichtlokalisation) und Artefaktbildungen. Unter objektiv bedingten Beurteilungsschwierigkeiten werden eine sog. mobile Bandscheibe, degenerative LWS-Veränderungen (v. a. mit dorsaler Osteophytenbildung) und postoperatives Narbengewebe bei den schon einmal operierten Patienten verstanden.

Von einigen Autoren wurde versucht, anhand der computertomographischen Ausprägung eines Befundes sequestrierte von nicht-sequestrierten Vorfällen zu unterscheiden. So hielten SACHSENHEIMER et al. (1982) bei einem "Prolapsdurchmesser" (Abstand von dorsaler Begrenzung des Vorfalles zur virtuellen Dorsalen Begrenzung der intakten Bandscheibe) von mehr als 5 mm einen freien Sequester für wahrscheinlich. FRIES et al. (1982) verglichen den Durchmesser des vorgefallenen Bandscheibengewebes mit dem Durchmesser des Dural-sacks. Wenn der Vorfall weniger als halb so groß wie der Dural-sack war, hielten sie eine Sequestrierung für unwahrscheinlich; war der Vorfall hingegen mindestens halb so groß wie der Duralsack, nahmen sie eine Sequestrierung an. Die Operationsbefunde bestätigten die Signifikanz dieses Kriteriums.

Die Angaben zur Dichte von Bandscheibenvorfällen schwankt in der vorliegenden Literatur innerhalb eines mehr oder weniger großen Bereichs. So geben z. NEDDEN et al. (1981) 50 - 60 HE, STOETER et al. (1982) 50 - 80 HE und FRIES et al. (1982) 50 - 100 HE an.

Soweit aufgeschlüsselte Angaben über die Treffsicherheit der Computertomographie in den verschiedenen lumbalen Segmenten vorliegen, wurde kein signifikanter Unterschied gefunden (FRIES et al. 1982).

Zusammenfassend darf gesagt werden, daß die computertomographische Bandscheibendiagnostik sich innerhalb der letzten zwei bis drei Jahre zu einer Routinemethode entwickelt hat, die nach der vorliegenden Literatur in ihrer Validität der Myelographie gleichkommt. Sie hat dazu den Vorteil der exakten morphologischen Abbildung und - bei fehlenden invasiven Maßnahmen - der geringen Patientenbelastung. Allerdings basieren die Arbeiten zur Computertomographie meist noch auf sehr kleinen Gruppen. Erst 1982 erschienen zwei Arbeiten, die ein dreistelliges Patientenkollektiv umfassen (BINGAS et al., FRIES et al.) und in nächster Zukunft dürften weitere umfassendere Erfahrungsberichte zu erwarten sein.

d. Spinale Phlebographie

Phlebographisch können sowohl die paravertebralen als auch die epiduralen Venengeflechte dargestellt werden, nicht hingegen die intraduralen, da durch Klappen in Höhe des Duradurchtritts ein Kontrastmittelfluß nach intradural verhindert wird. In der Prolapsdiagnostik wird die spinale Phlebographie dann relevant, wenn durch die Raumforderung eine Kompression bzw. Verlagerung der epiduralen Venen erfolgt.

Die paravertebralen und epiduralen Venenplexus können auf zwei Wegen dargestellt werden:

1. Ossovenographie: Kontrastmittelinjektion in die Spongiosa des Dornfortsatzes oder des Wirbelkörpers, wobei im Lumbalbereich der Zugang über den Dornfortsatz erfolgt.
2. Direkte Kathetervenenographie: Kontrastmittelinjektion durch einen über die V. femoralis eingeführten Katheter in die V. lumbalis ascendens und die Paravertebralvenen.

Die spinale Phlebographie wird heute nur noch selten zum Nachweis eines Bandscheibenvorfalles eingesetzt. Sie erfordert einen erfahrenen Beurteiler, ist dann aber eine sehr sensible Methode. Eine epidurale Raumforderung ist bei einem normalen Phlebogramm weitgehend ausgeschlossen (VOGELSANG 1969).

Neuere Untersuchungen zeigen eine gewisse Überlegenheit gegenüber dem Myelogramm, insofern auch lateral gelegene und relativ kleine raumfordernde Prozesse im Phlebogramm besser zur Darstellung gelangen (MEIJENHORST 1980). Die Untersuchungen von MEIJENHORST (1980), die auf einer beiderseitigen direkten Darstellung der epiduralen Venengeflechte (doppelter Katheter) beruhen, ergaben bei 79 Patienten eine Treffsicherheit von 90 %, gegenüber 76 % durch die Myelographie (operativ bestätigt). Bei Darstellung mit einem Einfach-Katheter nur von einer Seite her fiel die Treffsicherheit allerdings auf 66 %, gegenüber 74 % durch die Myelographie (bei 58 Patienten, operativ bestätigt), wobei diese Validitätsminderung auf einem relativ hohen Anteil (20 %) von technisch schlechten, nicht beurteilbaren Phlebogrammen beruhte.

Postoperativ kommt es meist zum Verschuß der Venen in Höhe des betreffenden Segments, so daß die spinale Phlebographie zum Nachweis eines Rezidivs ungeeignet ist. Gelegentlich erhält man aber auch postoperativ normale Phlebogramme.

Technisch ist die spinale Phlebographie im Vergleich zur Myelographie sehr viel aufwendiger und schwieriger, so daß sie nur in wenigen Kliniken routinemäßig durchgeführt werden kann. Vielfach wurde sie jedoch in problematischen Fällen als Zusatzuntersuchung empfohlen (GÜRDES et al. 1974), hat aber sicherlich nach Einführung der Computertomographie in die spinale Diagnostik entscheidend an Bedeutung verloren.

An Komplikationen sind neben allergischen Reaktionen auf das Kontrastmittel bei der direkten Katheterdarstellung Gefäßperforationen und Thromboembolien zu nennen.

e. Diskographie

Bei der Diskographie werden die Bandscheiben direkt durch Injektion eines wasserlöslichen Kontrastmittels (etwa 1 - 3 ml) dargestellt. Die Punktion erfolgt im Lumbalbereich entweder transdural von dorsal oder extradural von dorsolateral her. Anhand einer seitlichen Röntgenaufnahme kann aus der Verteilung des Kontrastmittels auf einen Bandscheibenprolaps geschlossen werden, es kommt dann zu einem Kontrastmittelaustritt nach dorsal. Auch die klinisch irrelevanten intraspongiösen "Vorfälle", die röntgenologisch als SCHMORLsche Knoten imponieren, kommen zur Darstellung, ebenso Verlagerungen des Bandscheibengewebes nach ventral.

Punktionsprobleme gibt es bei ausgeprägten Osteochondrosen mit Verschrumpfung des Zwischenwirbels und osteophytären Randzacken. Die Injektion des Kontrastmittels gelingt in der Regel ohne Schwierigkeiten, wenn erst einmal die Punktion erfolgt ist. Wegen der Auflockerung des degenerierten Bandscheibengewebes ist dessen Kapazität zur Flüssigkeitsaufnahme sogar noch erhöht. Der bei der Diskographie beobachtete Provokationsschmerz beruht darauf, daß prolabierte Bandscheibengewebe nach der Flüssigkeitsinjektion quillt und die Kompressionswirkung vergrößert.

Der Stellenwert der Diskographie in der modernen Prolapsdiagnostik ist gering. Unter den Kontrastmittelmethoden ist die Myelographie wesentlich einfacher durchzuführen und aussagekräftiger, da sie über den Nachweis eines Füllungsdefekts zugleich das Wirkungsausmaß einer Raumforderung deutlich macht. GROTE (1975) vertritt die Ansicht, daß eine Diskographie im Lumbalbereich überhaupt nicht zu vertreten ist, während PIEGRAS (1977) sie allenfalls im Segment L5/S1 wegen des dort größeren ventralen Epiduralraums, der oft zu unklaren Myelographiebefunden führt, als Ergänzungsuntersuchung zur Myelographie für sinnvoll hält. Von anderen Autoren wurde die Diskographie jedoch immer wieder als wertvolle Zusatzmethode bei negativem Myelogramm angesehen, die selbst ganz lateral gelegene Vorfälle zu erfassen vermag (so von SCHMIDT et al. 1979). Heute dürfte dieser Gesichtspunkt allerdings nur eine Rolle spielen, wenn ein geeignetes CT-Gerät nicht zur Verfügung steht.

TEIL II: EIGENE UNTERSUCHUNGEN BEI 238 PATIENTEN

E. METHODIK

Ziel dieser Untersuchung ist eine Aussage zur diagnostischen Wertigkeit der spinalen Computertomographie bezüglich des lumbalen Bandscheibenvorfalles auf der Grundlage eines größeren Patientenkollektivs. Dabei ist ein Vergleich mit der Myelographie insofern notwendig, als diese bisher die Methode der Wahl in der Bandscheibendiagnostik war und in ihrer Effizienz die Maßstäbe setzt. In die Untersuchung aufgenommen wurden nur Patienten, die sich einer Operation unterzogen, so daß in jedem Falle die Kontrolle durch den Operationsbefund möglich war.

Die Untersuchung basiert auf spinalen Computertomogrammen bei 238 Patienten, die im Zeitraum von Juli 1981 bis Mai 1982 im St.-Gertrauden-Krankenhaus in Berlin-Wilmersdorf durchgeführt wurden. 179 Patienten wurden zusätzlich myelographiert, die meisten von ihnen ebenfalls im St.-Gertrauden-Krankenhaus und einige wenige in anderen Häusern. Alle 238 Patienten wurden im St.-Gertrauden-Krankenhaus operiert.

Die Computertomogramme wurden an einem Gerät des Fabrikats GE CT/T 8800 durchgeführt. Technische Daten: 400 mA, 120 kV, 0.2 sec, 3.3 msec "pulse width", 25-cm-Scanfeld ("infant calibration"), Scanzeit 9.6 sec pro Schicht, Schichtdicke 5 mm. Die Schichten wurden aneinanderliegend ohne Überlappungen angefertigt, damit möglichst wenig Schichten und daher eine möglichst geringe Strahlendosis erforderlich waren. Für jedes Segment wurden 4 - 6 Schichten benötigt, die einen Bereich vom distalen Drittel des proximalen Wirbelkörpers bis zum proximalen Drittel des distalen Wirbelkörpers abdeckten. Auf diese Weise konnten auch nach kranial bzw. kaudal luxierte Sequester erfaßt werden. Die Dauer der gesamten Untersuchung betrug je nach Anzahl der untersuchten Segmente 15 - 25 Minuten.

In Anbetracht der Tatsache, daß 94 - 98 % aller Bandscheibenvorfälle die Segmente L 4/5 und L 5 / S 1 betreffen (vgl. Tab. 1), wurden diese beiden Segmente in allen Fällen geschichtet. Für die Frage, ob weitere Segmente untersucht werden sollten, war der klinische Befund entscheidend.

Die Patienten befanden sich bei der Untersuchung in Rückenlage. Die Beine wurden angewinkelt und das Becken ggf. hochgelagert, um die physiologische Lendenlordose soweit wie möglich auszugleichen. Dies war notwendig, da die Schichten parallel zu den Wirbelkörperdeckplatten verlaufen müssen, um exakte Querschnittsbilder ohne projektive Verzerrungen mit entsprechenden Beurteilungsfehlermöglichkeiten zu ergeben (HIRSCHY et al. 1980; STOETER et al. 1981). Die Gantry kann zwar in einem Bereich von - 15 bis + 15 Grad gekippt werden. Dieser Neigungsspielraum reicht aber im lumbosacralen Übergangsbereich oft nicht aus, um eine streng bandscheibenparallele Einstellung zu erreichen.

Zur Lokalisation der anzufertigenden Schichten wurde zu Beginn eine seitliche Übersichtsaufnahme der Lendenwirbelsäule (sog. "scout view") mit dem CT-Gerät aufgenommen. Die Abbildung 1 zeigt eine solche Übersichtsaufnahme.

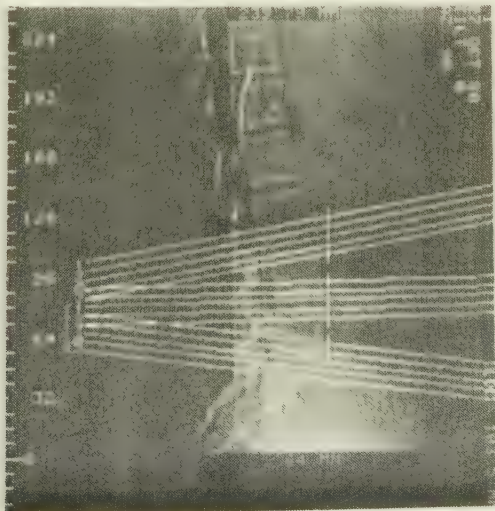


Abb. 1: Scout View. Der Patient befindet sich in Untersuchungsposition.

Wie die Abb. 1 zeigt, sind die Lokalisationen der Schichtebenen durch Geraden markiert. In diesem Fall wurden die drei Segmente L3/4, L4/5 und L5/S1 untersucht. Für jedes Segment wurden 5 Schichten angefertigt. Wie aus der Markierung ersichtlich, liegen die Schichtebenen parallel zur Deckplattenebene. Dazu mußte der Neigungswinkel der Gantry für jedes Segment geändert werden. Die Schichten sind nummeriert, so daß anhand der Übersicht die Lokalisation jeder einzelnen Schicht eindeutig bestimmbar ist.

Bei Anfertigung des Scout View muß der Patient sich bereits in der Untersuchungsposition befinden und darf diese unter keinen Umständen mehr verändern. Anhand der Übersichtsaufnahme werden die Schichtlokalisationen verbindlich in den Computer eingegeben und mittels des programmierten Tischvorschubs während der Untersuchung nacheinander eingestellt. (Die erforderliche Gantryneigung wird dagegen nicht vom Computer vorgenommen, sondern muß zuvor vom Bedienungspersonal durch Knopfdruck anhand einer elektronischen Neigungswinkelanzeige eingestellt werden.) Würde der Patient während der Untersuchung seine Position verändern, wäre eine verlässliche Lokalisation nicht mehr möglich, da die Patienten sich dann zum Zeitpunkt der Schichtaufnahme in einer anderen Position befunden als zum Zeitpunkt der Programmierung ihrer Lokalisation. Das absolute Bewegungsverbot während der Untersuchung kann bei schmerzgeplagten Patienten, um die es sich bei den Bandscheibenpatienten ja in der Regel handelt, zu einem ernsthaften Problem werden.

Sämtliche Untersuchungen wurden ohne Kontrastmittel durchgeführt. Lediglich bei zwei voroperierten Patienten wurde die Untersuchung nach intravenöser Kontrastmittelgabe (50 ml Telebrix 300) wiederholt. Diese Patienten wurden jedoch nicht in die Studie aufgenommen, da sie ambulant aus anderen Häusern kamen und nicht von uns nachoperiert wurden.

Die Befundung der Computertomogramme wurde von einem Arzt der neurochirurgischen Abteilung vorgenommen. Insgesamt waren fünf Ärzte an der Erstellung der 238 Befunde beteiligt. Die Befundungs-

kriterien werden im Abschnitt G behandelt. Die Myelogramme wurden, soweit im St.-Gertrauden-Krankenhaus durchgeführt, in Zusammenarbeit der neurochirurgischen und der radiologischen Abteilung erstellt und befundet. Die auswärtigen Myelogramme wurden in der neurochirurgischen Abteilung nachbefundet. Auf diese Weise erschien eine relativ einheitliche Bewertung gewährleistet.

Die überwiegende Mehrzahl der Patienten kam ambulant zur Computertomographie und wurde erst später zur Myelographie bzw. Operation stationär aufgenommen. Zwischen der Durchführung des Computertomogramms und der stationären Aufnahme zur Myelographie bzw. Operation lagen Zeiträume von einem Tag bis zu zwei Wochen. Nur in zwei Fällen lagen ein bzw. eineinhalb Monate dazwischen.

Die Befunde des Computertomogramms, des Myelogramms und der Operation wurden in jedem einzelnen Fall miteinander verglichen. Dabei wurde eine Aufschlüsselung nach der Segmentlokalisation und der Lokalisation im Querschnitt (lateral-mediolateral-medial) vorgenommen. Divergente Befunde wurden analysiert. Die statistischen Signifikanzberechnungen wurden nach dem Chi-Quadrat-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt, wenn Befunde aus voneinander unabhängigen Patientengruppen verglichen wurden (z. B. Vergleich der Operationsbefunde aus der Gruppe, in der der CT-Befund negativ und der Myelographiebefund positiv war, mit denjenigen aus der Gruppe, in der umgekehrt der CT-Befund positiv und der Myelographiebefund negativ war). Bei abhängigen Stichproben, wie z. B. dem Vergleich von CT- und Myelographiebefunden aus derselben Patientengruppe, kam der McNemar-Test zur Anwendung (SIEGEL 1956).

F. PATIENTENKOLLEKTIV

Insgesamt wurden 238 Patienten untersucht, die alle computer-tomographiert und operiert wurden. 179 von ihnen wurden zusätzlich noch myelographiert. Dies geschah vor allem in der Anfangsphase der Untersuchungsreihe, um einen Vergleich der Methoden zu ermöglichen und dadurch gleichzeitig eine Erfahrungsgrundlage in der Bewertung der Befunde zu schaffen. Später wurde nur noch in den Fällen myelographiert, in denen der CT-Befund nicht eindeutig oder bei eindeutiger Klinik negativ war.

Gruppe I: 179 Patienten mit CT und Myelographie

Gruppe II: 59 Patienten nur mit CT

Von den 179 Patienten der Gruppe I waren 75 (= 41,9 %) Frauen und 104 (= 58,1 %) Männer. Von den 59 Patienten der Gruppe II waren 27 (= 45,7 %) Frauen und 32 (= 54,3 %) Männer. Tabelle 5 zeigt die Altersverteilung der beiden Gruppen.

Tabelle 5

Altersverteilung

(absolute Häufigkeiten; Prozentangaben in Klammern)

Altersgruppe	Gruppe I	Gruppe II
20 - 29	11 (6,1)	1 (1,7)
30 - 39	60 (33,5)	21 (35,6)
40 - 49	59 (33,0)	20 (33,9)
50 - 59	29 (16,2)	12 (20,3)
60 - 69	18 (10,1)	4 (6,8)
70 - 79	2 (1,1)	1 (1,7)
Summe	179 (100)	59 (100)

Der jüngste Patient war in Gruppe I 21 Jahre und in Gruppe II 28 Jahre alt. Der älteste Patient war in beiden Gruppen jeweils 71 Jahre alt.

Hinsichtlich der Alters- und Geschlechtsverteilung unterscheiden sich beide Gruppen statistisch nicht signifikant voneinander (Altersverteilung: $\chi^2 = 2,58$; $df = 4$; $p > 0,60$. Geschlechtsverteilung: $\chi^2 = 0,14$; $df = 1$; $p > 0,70$).

Die Aufschlüsselung nach der Höhe des betroffenen Segments ist für beide Gruppen in Tabelle 6 angegeben. Dabei wurden nur die Fälle berücksichtigt, in denen operativ ein Bandscheibenvorfall bestätigt werden konnte. Dies war in der Gruppe I bei 162 Patienten (= 90,5 %) und in der Gruppe II bei 58 Patienten (= 98,3%) der Fall. Demgegenüber wurden bei der Operation in der Gruppe I in 7 Fällen (= 3,9 %) knöchern-degenerative Veränderungen, in 9 Fällen (= 5 %) postoperative Verwachsungen sowie in 1 Fall (= 0,6 %) ein Tumor und in der Gruppe II in 1 Fall (= 1,7 %) knöchern-degenerative Veränderungen gefunden.

Tabelle 6

Segmentverteilung der Bandscheibenvorfälle
(absolute Häufigkeiten; Prozentangaben in Klammern)

Segment	Gruppe I	Gruppe II
L2/3	2 (1,2)	-
L3/4	5 (3,1)	1 (1,7)
L4/5	76 (46,9)	19 (32,8)
L5/S1	79 (48,8)	38 (65,5)
Summe	162 (100)	58 (100)

Die Gruppe I zeigt in der Häufigkeitsverteilung der betroffenen Segmente eine hohe Übereinstimmung mit den Angaben in der Literatur (vgl. Tabelle 1, S. 17) und kann daher als repräsentativ angesehen werden. Hingegen fällt in der Gruppe II der relativ hohe Anteil des Segments L5/S1 auf, das in dieser Gruppe statistisch hochsignifikant häufiger betroffen war als in Gruppe I ($\chi^2 = 134$; $df = 1$; $p \leq 0,001$).

Die Verschiebung zugunsten des Segments L5/S1 in der Gruppe II dürfte zumindest teilweise auf einer Art beurteilungsbedingter "positiver Auslese" beruhen. Die computertomographische Darstellung ist im Segment L5/S1 am differenziertesten. Zudem ist der Epiduralraum hier in der Regel am ausgedehntesten, v. a. auch ventral des Duralsacks, so daß raumfordernde epidurale Prozesse deutlich zur Darstellung kommen. Dieser Gesichtspunkt führt sicherlich zu einer größeren Beurteilungssicherheit in diesem Segment im Vergleich zu den anderen Segmenten. Die Patienten der Gruppe II wurden allein aufgrund des CT-Befundes operiert. Dazu war ein sicherer CT-Befund erforderlich, der aus den genannten Gründen sich häufiger in Höhe L5/S1 ergeben haben könnte.

G. BEURTEILUNGSKRITERIEN

1. Strukturanordnung

Vor Mitteilung der Ergebnisse muß zunächst auf die Beurteilungskriterien in der spinalen Computertomographie eingegangen werden, wie sie der Befundung zugrundelagen. Wie im Übersichtsteil dieser Arbeit schon ausgeführt, kommen im normalen spinalen Nativscan folgende Strukturen zur Darstellung:

- a. knöcherne Strukturen: Wirbelkörper, -bögen und damit die knöcherne Begrenzung des Spinalkanals, Dorn- und Querfortsätze, ggf. degenerative Randanbauten;
- b. kleine Wirbelgelenke;
- c. Bandscheibengewebe mit einer bei der intakten Bandscheibe nach dorsal konkavbogigen Begrenzung;
- d. Rückenmark bzw. unterhalb von L1 der Duralsack mit den Nervenwurzelsträngen der Cauda equina, die jedoch mit dem vorhandenen Gerät der 3. Generation nicht einzeln sichtbar werden, sondern nur als Ganzes zur Darstellung kommen;
- e. abgehende Nervenwurzeln, die teilweise im Querschnitt, teilweise schräg getroffen sind;
- f. Spinalganglien in Höhe der Foramina intervertebralia;
- g. epidurale Venen, v. a. der retrovertebrale Venenplexus;
- h. epidurales Fettgewebe.

Demnach sind folgende pathologische Strukturveränderungen erkennbar:

- a. traumatische, degenerative, tumorbedingte oder postoperative Veränderungen der knöchernen Strukturen;
- b. Arthrose der kleinen Wirbelgelenke;
- c. Veränderungen des Bandscheibengewebes, v. a. der dorsalen Begrenzung: konvexbogige Vorwölbung oder asymmetrisches Hineintragen in den Wirbelkanal bzw. freies Bandscheibengewebe im Wirbelkanal;
- d. anderes "Fremdgewebe" im Wirbelkanal: Tumoren und postoperatives Narbengewebe;

- e. Veränderung bzw. Verlagerung der Cauda equina bzw. der Nervenwurzeln, die dann in vielen Fällen auch nicht mehr eindeutig von der Umgebung abgrenzbar sind;
- f. asymmetrische Verteilung des epiduralen Fettgewebes infolge der Verdrängung durch einen raumfordernden Prozeß.

Im Vergleich zur normalen Strukturordnung sind aus diesen Veränderungen diagnostische Rückschlüsse möglich. Dabei wird die räumliche Beziehung pathologischer Strukturen zur Umgebung im Querschnitt direkt dargestellt. Im Falle der Bandscheibendiagnostik kann daher eine Aussage über die Lokalisation und Größe eines Vorfalls eindeutig getroffen werden. Hinsichtlich der Lokalisation können nicht nur mediale, mediolaterale und laterale Vorfälle unterschieden werden, sondern es kann dezidiert gesagt werden, ob etwa der Prolaps den Recessus lateralis ausfüllt, ob ein in das Foramen intervertebrale luxierter Sequester oder ob ein nach kranial bzw. kaudal luxierter Sequester vorliegt, ob ein Kontakt zur Cauda besteht oder ob diese sogar nach dorsal oder latero-dorsal verdrängt ist und es kann schließlich auch eine Aussage über die räumliche Beziehung zur Wurzel getroffen werden, sofern diese noch gegen den Prolaps abgrenzbar ist: ob sie von einem medialen Prolaps nach lateral bzw. ~~xxx~~ latero-dorsal oder von einem lateralen Prolaps nach medial verdrängt ist.

Direkt dargestellt wird der anatomische Querschnitt mit der horizontalen Anordnung der Strukturen. Über die sekundäre Bildverarbeitung kann allerdings dann auch ein Längsschnitt in jeder beliebigen, genau definierbaren sagittalen oder coronaren Ebene dargestellt werden, so daß dann die Strukturen auch in ihrer vertikalen Anordnung sichtbar werden. Die räumlichen Beziehungen werden dadurch noch deutlicher. Auf diese Weise kann schon präoperativ der dreidimensionale Raum optimal exploriert werden. Eine verwertbare Rekonstruktion erfordert hinreichend viele und hinreichend dünne Schichten. Sie sollten für die Erfordernisse der spinalen Diagnostik 1,5 - 2 mm dick sein und sich teilweise überlappen. Damit wird die Untersuchung allerdings

sehr aufwendig und die Strahlenbelastung des Patienten ganz wesentlich gesteigert. Aus diesen Gründen sind die Rekonstruktionsverfahren in der Bandscheibendiagnostik routinemäßig sicherlich nicht sinnvoll durchführbar. Die Effizienz der computertomographischen Bandscheibendiagnostik wird durch sie wahrscheinlich auch nicht wesentlich gefördert. In der vorliegenden Arbeit wurden aus Gründen der möglichst geringen Patientenbelastung keine Rekonstruktionen durchgeführt. Auch sollte ja die Effizienz der Methode in ihrer routinemäßigen Anwendbarkeit überprüft werden. In der Literatur wurde auch auf die Möglichkeit einer direkten coronaren Schichtung durch entsprechende Lagerung des Patienten hingewiesen (VEIGA-PIRES et al. 1982). Praktisch dürfte sie aber in den meisten Fällen an der Konstruktion der Gantry scheitern und wäre in der Bandscheibendiagnostik ohnehin nur von geringem Aussagewert.

Die Abbildungen 2 - 6 zeigen im Vergleich Beispiele normaler und pathologischer spinaler Computertomogramme in den beiden unteren lumbalen Segmenten.

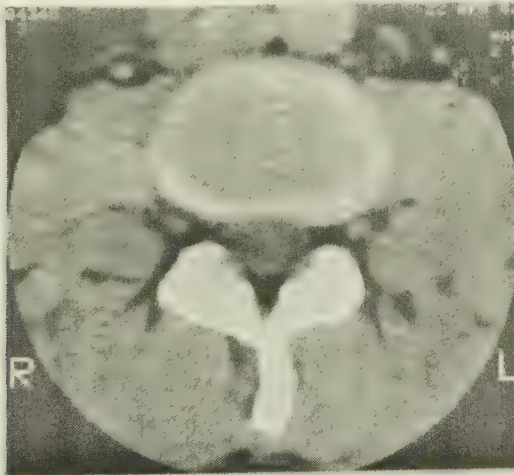


Abb.:2: Normales spinales CT in Höhe L4/5

Die Abb. 2 zeigt die Schnittebene in Höhe der Bandscheibe. Diese ist nach dorsal konkavbögig scharf begrenzt und von dem deutlich hypodenseren Duralsack gut abgrenzbar. Das epidurale Fettgewebe ist symmetrisch verteilt. In den Foramina intervertebralia sind rechts und links die Spinalganglien symmetrisch angeschnitten. Auch die knöchernen Strukturen und der Wirbelgelenkspalt sind normal dargestellt. Nach dorsal ist zwischen Duralsack und Wirbelbogen als schmaler Saum beidseits das Ligamentum flavum erkennbar.

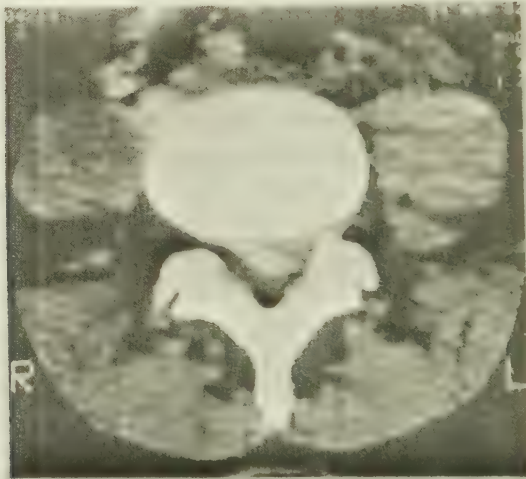


Abb. 3: Mediolateraler Bandscheibenvorfall in Höhe L4/5 links Bandscheibengewebe reicht von medial nach links weit in den Spinalkanal und in das linke Foramen intervertebrale hinein. Die Begrenzung gegenüber dem Duralsack ist in dieser Einstellung scharf. Letzterer erscheint durch den Prolaps komprimiert. Links ist das Fettgewebe durch den Prolaps vollständig verdrängt. Das linke Spinalganglion scheint nach lateral und ventral verschoben. Die knöchernen Strukturen und die Gelenke sind normal.

Klinik: radikuläres Syndrom L5 und S1 links mit Paresen, akuter Beginn 14 Tage zuvor.

Operationsbefund: sequestrierter Bandscheibenprolaps.

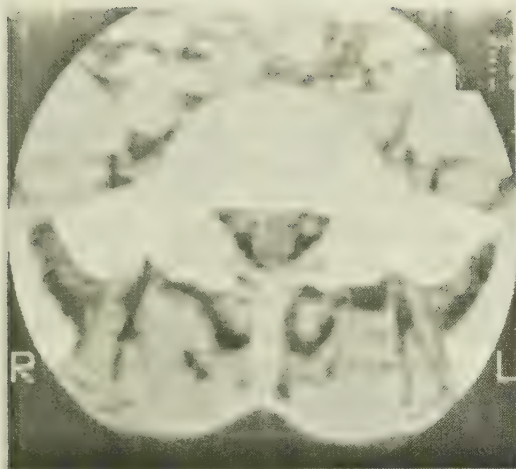


Abb. 4: Normales spinales CT in Höhe L5/S1

Der Duralsack ist rund und mittelständig dargestellt. Rechts und links von ihm sind die ebenfalls runden Nervenwurzelquerschnitte symmetrisch angeordnet. Zwischen Duralsack und dorsaler Wirbelkörperbegrenzung ist das epidurale Venengeflecht erkennbar. Das epidurale Fettgewebe ist symmetrisch verteilt. Die Begrenzung des Wirbelkanals und der Recessi laterales ist normal. Dorsal kommen die Ligamenta flava deutlich zur Darstellung.

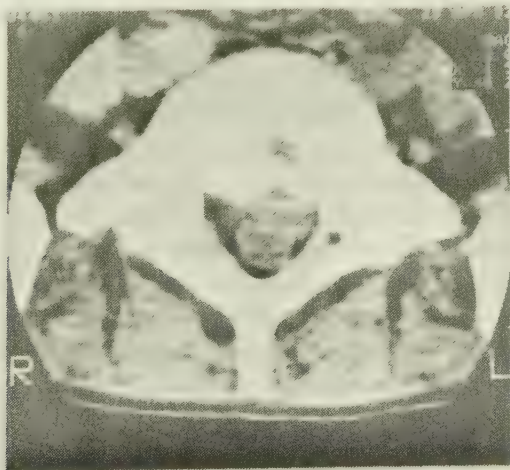


Abb. 5: Mediolateraler Bandscheibenvorfall in Höhe L5/S1 links

Deutlich erkennbar ist in Abb. 5 das weit in den Spinalkanal hineinragende Bandscheibengewebe, das Kontakt zum Duralsack hat und in diesem Falle von ihm nicht scharf abgrenzbar ist. Die im Querschnitt getroffene Nervenwurzel ist rechts noch differenzierbar, links dagegen nicht. Das epidurale Fettgewebe bildet links nur noch einen schmalen Saum zwischen Prolaps resp. Wurzel und dem Ligamentum flavum.

Klinik: radikuläres Syndrom S1 links.

Operationsbefund: freier Bandscheibensequester.



Abb. 6: Zustand nach Bandscheibenoperation in Höhe L5/S1 rechts mit erweiterter interlaminärer Fensterung

Deutlich erkennbar ist der Knochendefekt im Bereich des Wirbelbogens rechts (man berücksichtige auch hier wie in allen anderen Abbildungen die seitenverkehrte Darstellung!). Es handelt sich dabei um den Operationsdefekt des erweiterten Fensters. Der Knochendefekt ist mit Narbengewebe ausgefüllt. Von hier erstreckt sich nach ventral bis an die dorsale Wirbelkörperbegrenzung und bis in den rechten Recessus lateralis weiteres Narbengewebe, gegen das der Duralsack nur angedeutet abgrenzbar ist. Epidurales

Fettgewebe ist rechts nicht mehr vorhanden. Die Nervenwurzel kann rechts nicht mehr vom Narbengewebe differenziert werden. Links ist die Nervenwurzel regelrecht im Recessus lateralis dargestellt. Zwischen ihr und dem Duralsack befindet sich reichliches Fettgewebe.

2. Dichtemessung

Die Abb. 6 zeigt als Charakteristikum des Narbengewebes, wie sich dieses von der Narbenplatte, die den Knochendefekt abschließt, homolateral in den Spinalkanal bis an den Wirbelkörper bzw. den Intervertebralraum erstreckt. Diese Strukturordnung spricht eindeutig für Narbengewebe. Schwierig ist dagegen die Frage nach einem Prolapsrezidiv, das möglicherweise in das vorhandene Narbengewebe eingebettet ist. Hier wäre an die Differenzierung aufgrund einer möglicherweise unterschiedlichen Dichte der Gewebe zu denken.

Aufgrund der vorliegenden Daten läßt sich jedoch für vorgefallenes Bandscheibengewebe ein hinreichend spezifischer Dichtebereich, der gegenüber Narbengewebe oder auch Tumoren von differentialdiagnostischer Bedeutung wäre, nicht sicher angeben. Diese Beobachtung stimmt mit den Angaben in der Literatur überein.

Dichtemessungen wurden bei 31 spinalen Computertomogrammen durchgeführt. Davon wurde operativ in 29 Fällen ein Bandscheibenvorfall nachgewiesen. In je einem Fall lagen postoperative Verwachsungen bzw. ossäre Veränderungen vor. Die mittlere Dichte betrug im Fall der postoperativen Verwachsungen 80 HE, im Fall der ossären Veränderungen 100 HE. Die Dichtewerte für die 29 Bandscheibenvorfälle sind in Abb. 7 graphisch dargestellt. Sie streuen breit und liegen zwischen 70 und 130 HE. Die mittlere Dichte für vorgefallenes Bandscheibengewebe beträgt aufgrund dieser Daten 87,5 HE mit einer Standardabweichung von 15 HE.

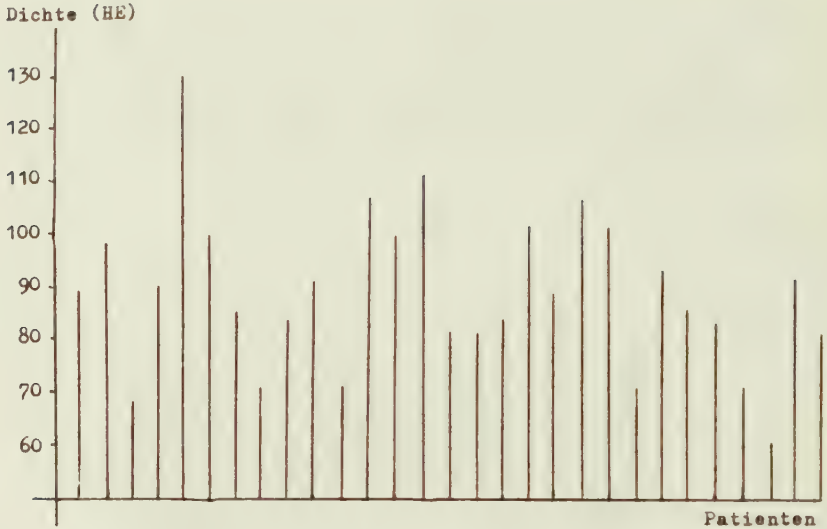


Abb. 7: Dichtemessung bei 29 Patienten mit einem Bandscheibenvorfall
(Einzelwertdarstellung; mittlere Dichte 87,5 HE / SD = 15 HE)

Andererseits wurde in der Übersicht bereits erwähnt, daß Erfahrungen über eine Dichteanreicherung des Narbengewebes gegenüber Bandscheibengewebe nach intravenöser Kontrastmittelapplikation vorliegen (SCHUBIGER et al. 1982). Wir haben bei zwei voroperierten Patienten mit postoperativem Narbengewebe und einem sicheren Prolapsrezidiv die Untersuchung in den entsprechenden Schichten nach intravenöser Gabe von 50 ml Telebrix 300 wiederholt und dabei in einem Fall eine deutliche Dichteanreicherung des Narbengewebes von 49 HE vor auf 74 HE nach der KM-Injektion feststellen können, während das Bandscheibengewebe in seiner Dichte unverändert blieb. Im anderen Fall kam es zu einer nur diskreten Dichteanreicherung des Narbengewebes von 38 auf 46 HE, hingegen zu einer deutlichen Dichteanreicherung des Bandscheibengewebes von 57 auf 74 HE. Sicherlich sind in dieser Richtung noch weitere Untersuchungen auf der Grundlage eines breiteren und systematisch gewonnenen Materials erforderlich, um zu einer gesicherten Aussage zu kommen.

Nach den bisher vorliegenden Erfahrungen muß daher gesagt werden, daß die differentialdiagnostischen Überlegungen der spinalen Computertomographie sich in erster Linie auf strukturelle Gesichtspunkte und nur sehr begrenzt auch auf Dichtemessungen gründen. Diese Aussage bezieht sich vor allem auf die Abgrenzung von Bandscheibenvorfällen gegenüber postoperativem Narbengewebe.

H. E R G E B N I S S E

1. Treffsicherheit der Computertomographie

Vergleicht man den computertomographischen Befund mit dem Operationsbefund zunächst für die Gruppen I und II getrennt, so ergeben sich die in den Tabellen 7 und 8 zusammengestellten Daten.

Tabelle 7

Vergleich der CT- und der Operationsbefunde

Gruppe I

(absolute Häufigkeiten; in Klammern Prozentangaben)

	OP positiv	OP negativ	Summe
CT positiv	128 (71,5)	9 (5)	137 (76,5)
CT negativ	33 (18,4)	9 (5)	42 (23,5)
Summe	161 (89,9)	18 (10,1)	179 (100)

Tabelle 8

Vergleich der CT- und der Operationsbefunde

Gruppe II

(absolute Häufigkeiten; in Klammern Prozentangaben)

	OP positiv	OP negativ	Summe
CT positiv	58 (98,3)	1 (1,7)	59 (100)
CT negativ	0	0	0

Definiert man die Treffsicherheit der diagnostischen Methode als die Quote der richtigen Vorhersagen, wird diese also durch die operativ bestätigten positiven und negativen CT-Befunde angegeben, so erhält man für die Gruppe I eine Treffsicherheit von 76,5 % (137 operativ bestätigte von insgesamt 179 Befunden) und für die Gruppe II eine Treffsicherheit von 98,3 % (58 operativ bestätigte von insgesamt 59 Befunden).

Der Unterschied beider Gruppen ist evident. Er ist aber freilich nur in den unterschiedlichen Auswahlkriterien begründet, weil in der Gruppe II sich diejenigen Patienten befanden, deren CT-Befund von vornherein eine hohe Sicherheit hatte, so daß man auf eine Myelographie verzichten konnte. Andererseits darf nicht unterschätzt werden, daß im Rahmen der empirischen Untersuchungsreihe die Patienten der Gruppe II zeitlich nach den Patienten der Gruppe I untersucht wurden. In dieser späteren Periode konnten Erfahrungen verwertet werden, die vorher hauptsächlich während der Untersuchungen an den Patienten der Gruppe I gewonnen worden waren. Dies dürfte nicht ohne Einfluß auf die Ergebnisse geblieben sein, so daß die Annahme sicherlich berechtigt ist, daß die Treffsicherheit im Laufe der Zeit gestiegen ist und über 76,5 % (Gruppe I) liegen dürfte. Faßt man die Daten der Gruppen I und II zusammen, so ergibt sich eine Treffsicherheit von 82 %, wie die Tabelle 9 zeigt.

Tabelle 9

Vergleich der CT- und der Operationsbefunde

Gesamtkollektiv

(absolute Häufigkeiten; in Klammern Prozentangaben)

	OP positiv	OP negativ	Summe
CT positiv	186 (78,2)	10 (4,2)	196 (82,4)
CT negativ	33 (13,8)	9 (3,8)	42 (17,6)
Summe	219 (92)	19 (8)	238 (100)

Vergleicht man die Gruppen I und II nach dem Anteil sequestrierter Vorfälle und nach dem Anteil freier Sequester unter diesen, so ergeben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede (Tabellen 10 und 11). Auch die Lokalisation im Querschnitt (lateral-mediolateral-medial) läßt keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen erkennen (Tabelle 12).

Tabelle 10

Anteil sequestrierter Bandscheibenvorfälle
(absolute Häufigkeiten; in Klammern Prozentangaben)

	Sequestrierte Bandscheibenvorfälle	Nicht-sequestrierte Bandscheibenvorfälle
Gruppe I	122 (75,8) ^a	39 (24,2)
Gruppe II	51 (87,9) ^a	7 (12,1)

^a Die Gruppe II wies eine höhere Quote sequestrierter Vorfälle auf. Der Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant ($\chi^2 = 0,0019$; df = 1; $p > 0,95$).

Tabelle 11

Anteil freier Sequester
an den sequestrierten
Bandscheibenvorfällen
(absolute Häufigkeiten; in Klammern Prozentangaben)

	Freier Sequester	Kein freier Sequester	Summe
Gruppe I	55 (45,1)	67 (54,9)	122
Gruppe II	22 (43,1)	29 (56,9)	51

Tabelle 12

Häufigkeitsverteilung lateral-mediolateral-medial
(in Klammern Prozentangaben)

	Laterale Bandscheibenvorfälle	Mediolaterale Bandscheibenvorfälle	Mediale Bandscheibenvorfälle	Summe
Gruppe I	124 (77,0)	32 (19,9)	5 (3,1)	161
Gruppe II	49 (84,5)	9 (15,5)	0	58

Nur im Vergleich der Höhenlokalisation kam in der Gruppe II das Segment L5/S1 signifikant häufiger vor, worauf im Kapitel F schon hingewiesen wurde. Schlüsselte man nun die Daten der Tabelle 9 nach der Höhenlokalisation auf, so ergeben sich für die einzelnen Segmente die in Tabelle 13 angegebenen Treffsicherheiten.

Tabelle 13

Treffsicherheiten in Abhängigkeit von der Höhenlokalisation

Segment	Anzahl d. Fälle	Anzahl richtiger Befunde	Treffsicherheit (Prozentangabe)
L2/3	2	2	100
L3/4	8	5	62,5
L4/5	100	82	82,0
L5/S1	128	106	82,8

Auffällig ist dabei, daß sich für das Segment L3/4 eine niedrigere Treffsicherheit ergibt als für die anderen Segmente. Allerdings ist aufgrund der niedrigen Fallzahl dieses Ergebnis nicht repräsentativ. In noch höherem Maß ist die Beurteilbarkeit für das Segment L2/3 eingeschränkt, da dort überhaupt nur zwei Fälle vorlagen. Die Segmente L4/5 und L5/S1 weisen hingegen eine annähernd übereinstimmende Treffsicherheit von über 80 % auf, so daß die Vermutung, daß das Segment L5/S1 sicherer zu beurteilen sei (vgl. Kap. F), nicht bestätigt werden kann.

Bei weiterer Analyse der Daten fällt in den Tabellen 7 und 9 auf, daß die Anzahl der falsch negativen CT-Befunde die der falsch positiven CT-Befunde deutlich übersteigt. Legt man die Daten der Tabelle 9 (Gesamtkollektiv) zugrunde, so stehen 33 (= 13,8 %) falsch negativen nur 10 (= 4,2 %) falsch positive CT-Befunde gegenüber. Diese Differenz ist statistisch signifikant ($\chi^2 = 11,3$; $df = 1$; $p < 0,001$). Hinsichtlich der Höhenlokalisation können die falsch positiven und falsch negativen CT-Befunde wie in Tabelle 14 angegeben aufgeschlüsselt werden.

Tabelle 14

Falsche CT-Befunde in Abhängigkeit von der Höhenlokalisation
(in Klammern Prozentangaben)

Segment	Anzahl d. Fälle	falsch negative CT-Befunde	falsch positive CT-Befunde
L2/3	2	0	0
L3/4	8	1 (12,5)	2 (25,0)
L4/5	100	15 (15,0)	3 (3,0)
L5/S1	128	17 (13,3)	5 (3,9)

Die Daten für die Segmente L2/3 und L3/4 müssen wegen der zu geringen Zahl außer Betracht bleiben. Bei den beiden kaudalen Segmenten zeigen sich keine Unterschiede, die falsch negativen Befunde überwiegen übereinstimmend.

Untersucht man die falsch negativen Befunde nach der Anzahl der ihnen entsprechenden operativ gefundenen sequestrierten Vorfälle bzw. nach der Quote der freien Sequester unter diesen und vergleicht diese Daten mit der Quote sequestrierter Vorfälle bzw. freier Sequester bei den Patienten mit richtig positiven CT-Befunden, so fällt auf, daß bei den Patienten mit falsch negativen CT-Befunden sequestrierte Bandscheibenvorfälle signifikant seltener vorkamen. Die Daten sind in Tabelle 15 angegeben. Weiterhin waren bei diesen Patienten unter den sequestrierten Vorfällen auch signifikant weniger frei-sequestrierte zu finden als bei den Patienten mit richtig positiven CT-Befunden (Tabelle 16). Daraus kann der Schluß gezogen werden, daß falsch negative CT-Befunde gehäuft bei nicht-sequestrierten Bandscheibenvorfällen zustandekommen.

Hinsichtlich der Lokalisation lateral-mediolateral-medial ergab sich eine nahezu übereinstimmende Verteilung in der Gruppe der Patienten mit falsch negativen Befunden und im Gesamtkollektiv (Tabelle 17).

Tabelle 15

Anteil sequestrierter Bandscheibenvorfälle

Patientengruppe	Anzahl d. Fälle	Anteil sequestrierter Vorfälle (in Klammern Prozentangaben)
falsch negative CT-Befunde	33	22 (66,7) ^a
richtig positive CT-Befunde	186	151 (81,2) ^a

^a statistisch signifikanter Unterschied ($\chi^2 = 2,73$; $df = 1$;
 $p \leq 0,05$)

Tabelle 16

Anteil freier Sequester
an den sequestrierten Vorfällen

Patientengruppe	Anzahl der sequestr. Vorfälle	Anteil mit freien Sequestern (in Klammern Prozentangaben)
falsch negative CT-Befunde	22	6 (27,3) ^a
richtig positive CT-Befunde	151	71 (47,0) ^a

^a statistisch signifikanter Unterschied ($\chi^2 = 2,28$; $df = 1$;
 $p \leq 0,10$)

Tabelle 17

Häufigkeitsverteilung lateral-mediolateral-medial
(in Klammern Prozentangaben)

Patienten- gruppe	Laterale Bandscheibenvorfälle	Mediolaterale	Mediale	Summe
falsch neg. Bef.	26 (78,8)	6 (18,2)	1 (3)	33
Gesamtkollektiv	173 (79)	41 (18,7)	5 (2,3)	219

2. Vergleich mit der Myelographie

Die Treffsicherheit der Myelographie anhand der Untersuchungen bei den 179 Patienten der Gruppe I ist aus Tabelle 18 zu entnehmen. Bei 156 Patienten war der Myelographiebefund positiv, bei 23 Patienten negativ. Von den positiven Myelogrammen konnten 144 (= 80,4 %) und von den negativen 6 (= 3,4 %) operativ bestätigt werden. Dies entspricht einer Treffsicherheit von 83,8 %. Die Anzahl der falsch negativen lag höher als die der falsch positiven Myelogramme, diese Differenz ist allerdings statistisch nicht signifikant.

Tabelle 18

Vergleich der Myelographie-
und der Operationsbefunde
(absolute Häufigkeiten; in Klammern Prozentangaben)

	OP positiv	OP negativ	Summe
Myelo positiv	144 (80,4)	12 (6,7)	156 (87,1)
Myelo negativ	17 (9,5)	6 (3,4)	23 (12,9)
Summe	161 (89,9)	18 (10,1)	179 (100)

Der Treffsicherheit der Computertomographie von 82 % steht also eine Treffsicherheit der Myelographie von 83,8 % gegenüber. Ein signifikanter Unterschied besteht nicht. Die diagnostische Wertigkeit beider Methoden kann daher gleich hoch eingeschätzt werden.

Vergleicht man die Befunde der Computertomographie und der Myelographie miteinander, so erhält man in 132 Fällen (=73,7 %) übereinstimmende Befunde. Davon waren in 123 Fällen (= 68,7%) beide Befunde positiv und in 9 Fällen (= 5%) beide Befunde negativ (Tabelle 19). Von den 123 übereinstimmend positiven Befunden konnten 120 (= 97,6 %) operativ bestätigt werden, so daß von einer deutlichen Erhöhung der Treffsicherheit gesprochen werden kann, wenn beide Untersuchungsmethoden übereinstimmend positive Befunde

Tabelle 19

Vergleich der CT- und der Myelographiefunde
(absolute Häufigkeiten; in Klammern Prozentangaben)

	CT positiv	CT negativ	Summe
Myelo positiv	123 (68,7)	33 (18,5)	156 (87,1)
Myelo negativ	14 (7,8)	9 (5)	23 (12,9)
Summe	137 (76,5)	42 (23,5)	179 (100)

ergeben. Die 9 Patienten mit den übereinstimmend negativen Befunden wurden allein aufgrund der Klinik operiert. Bei ihnen wurde nur in 1 Fall (= 11,1 %) kein Prolaps gefunden. Man kann demnach davon ausgehen, daß auch übereinstimmend negative Befunde einen Prolaps nicht mit Sicherheit ausschließen können, wenngleich die "Trefferquote" von 11,1 % dadurch verfälscht ist, daß die weitaus meisten Patienten mit übereinstimmend negativen Befunden nicht operiert werden, so daß eine Überprüfung nicht möglich ist. Es ist daher nicht auszuschließen, daß die weitaus meisten Patienten mit übereinstimmend negativen Befunden auch tatsächlich keinen Prolaps haben.

Eine Analyse der nicht-übereinstimmenden Befunde zeigt zunächst, daß signifikant häufiger der CT-Befund negativ und der Myelographiefund positiv war als umgekehrt (18,5 % vs. 7,8 %, vgl. Tab. 19), statistische Signifikanzprüfung: $\chi^2 = 6,89$; df = 1; $p < 0,005$. Der Grund dafür ist mit hoher Wahrscheinlichkeit darin zu suchen, daß die betreffenden CT-Untersuchungen durch zu wenige Schichten oder eine lückenhafte Darstellung keinen ausreichenden Bereich erfaßt haben. Von den 33 Befunden mit negativer Computertomographie und positiver Myelographie konnte der myelographische Befund in 27 Fällen (= 81,8 %) bestätigt werden, in 6 Fällen (= 18,2 %) war der Myelographiefund falsch positiv und der negative CT-Befund richtig gewesen. Umgekehrt wurde bei den positiven CT- und negativen Myelographiefunden (14 Fälle) der CT-Befund in

12 Fällen (= 85,7 %) bestätigt und nur in 2 Fällen (= 14,3 %) war der negative Myelographiebefund richtig gewesen. Bei nicht-übereinstimmenden Befunden wird also der positive Befund jeweils mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit bestätigt. Addiert man in Tabelle 19 alle Befunde, bei denen wenigstens eine Untersuchungsmethode positiv war, so sind dies 170 Befunde. Davon konnten 159 operativ bestätigt werden, was einer Treffsicherheit von 93,5 % entspricht. Auch diese Treffsicherheit liegt noch deutlich über derjenigen für jeweils eine Methode allein.

In der Literatur war berichtet worden, daß in Höhe L5/S1 die Treffsicherheit der Myelographie signifikant unter derjenigen der Computertomographie liege (FRIES et al. 1982). Die Tabelle 20 gibt die myelographische Treffsicherheit in Abhängigkeit von der Höhenlokalisation an.

Tabelle 20

Treffsicherheiten in Abhängigkeit von der Höhenlokalisation
(Myelographie)

Segment	Anzahl d. Fälle	Anzahl richtiger Befunde	Treffsicherheit (Prozentangabe)
L2/3	2	2	100
L3/4	7	5	71,4
L4/5	81	74	91,4
L5/S1	89	69	77,5

Die Treffsicherheiten für die Segmente L2/3 und L3/4 sollen wegen der zu geringen Fallzahl unberücksichtigt bleiben. Die Differenz zwischen den Segmenten L4/5 und L5/S1 ist statistisch signifikant ($\chi^2 = 5,08$; $df = 1$; $p \leq 0,025$). Vergleicht man die korrespondierenden, nach der Höhenlokalisation aufgeschlüsselten Daten von Computertomographie und Myelographie, so ist in Höhe L4/5 die Myelographie (Signifikanzniveau $p \leq 0,10$; $\chi^2 = 2,55$; $df = 1$) und in Höhe L5/S1 die Computertomographie (Signifikanzniveau $p \leq 0,0005$; $\chi^2 = 16,4$; $df = 1$) jeweils treffsicherer.



3. Diskussion

In der Diagnostik des lumbalen Bandscheibenvorfalls läßt sich allein mit der Computertomographie in 82 % der Fälle die richtige Diagnose stellen. Dieses Ergebnis stimmt mit den Angaben in der Literatur überein, die zwischen 76,5 % und 100 % liegen (vgl. Tabelle 4). Damit kommt diese Methode der Myelographie in ihrer diagnostischen Wertigkeit gleich. Für die Myelographie wurden in der Literatur Treffsicherheiten zwischen 74,4 % und 98,6 % angegeben (vgl. Tabelle 3), die eigenen Untersuchungen ergaben 83,8 % richtige Befunde.

Die Schwankungsbreite in den Mitteilungen operativ bestätigter CT-Befunde dürfte auf Faktoren beruhen, die erstens die Untersuchungsmethode und die Beurteilung ihrer Befunde sowie zweitens die Entscheidung zur Operation betreffen.

Zum ersten Punkt: Da die hochauflösenden Computertomographen die Morphologie optimal darstellen, muß ein Prolaps prinzipiell zur Darstellung kommen. Daraus folgt eine theoretische Treffsicherheit von 100 %. Voraussetzung ist eine lückenlose, hinreichend ausgedehnte Darstellung des Segments, die sich nicht nur auf den Intervertebralraum erstrecken darf. Nur so können einerseits kleine und andererseits weit luxierte Sequester erfaßt werden. Andernfalls werden falsch negative Befunde begünstigt. Unsere Untersuchungen deckten neben dem Intervertebralraum noch jeweils etwa ein Drittel der angrenzenden Wirbelkörper ab. Eine lückenhafte Darstellung kann durch Bewegungen des Patienten zustandekommen, durch die sich die Schichtlokalisation verschiebt und die ursprünglich vorgesehene Lokalisation nicht zustandekommt. Kleinere Vorfälle können dann schon übersehen werden, wenn nur eine Schicht von wenigen Millimetern fehlt. Dieser Gesichtspunkt ist von großer Relevanz und erklärt einen Großteil der falsch negativen Befunde. Unter diesen befanden sich signifikant weniger sequestrierte Vorfälle, von denen wiederum signifikant weniger frei sequestriert waren. Die Möglichkeit, einen Prolaps zu übersehen dürfte damit steigen. Wahrscheinlich kann durch sich überlappende Schichten

dieser Gefahr in gewisser Weise vorgebeugt werden, wie entsprechende Arbeiten zeigen, die mit überlappender Schichtlokalisation höhere Treffsicherheiten erzielten (JUNGES et al. 1982: 100 %; FRIES et al. 1982: 92 %).

Fehlbeurteilungen sind bei ausgeprägten degenerativen Veränderungen mit osteophytären Randzackenbildungen, bei engem Spinalkanal mit verhältnismäßig undifferenzierter Darstellung der Weichteilstrukturen des Spinalkanals und bei postoperativen Verwachsungen möglich und können teils zu falsch positiven, teils zu falsch negativen Befunden führen.

Zum zweiten Punkt: Bei den eigenen Befunden und größtenteils auch in der Literatur überwiegen die falsch negativen Befunde, wobei naturgemäß nur die Fälle berücksichtigt sind, die trotz des negativen Befundes operiert wurden. Hält man sich mit der Entscheidung zur Operation zurück und operiert nur die Patienten, die im CT einen eindeutigen Befund aufweisen, so wird man natürlich immer eine höhere Treffsicherheit erzielen, als wenn man die Operationsindikation auch in anderen Fällen unter Zuhilfenahme der Klinik gestellt hätte. Das wird durch die Gruppe II mit ihrer hohen Treffsicherheit von 98,3 % bestätigt. Die Berechtigung, bei entsprechender Klinik auch trotz negativer apparativer Befunde zu operieren, ergibt sich aus den eigenen Untersuchungen, die bei 8 von 9 Patienten mit negativem CT- und Myelographiebefund, aber eindeutiger Klinik den operativen Nachweis eines Bandscheibenvorfalles ergaben.

Die Treffsicherheit wird durch eine zusätzliche Myelographie auf 93,5 % erhöht, wenn als Kriterium gilt, daß wenigstens ein Befund positiv ist. Sind beide Befunde positiv, beträgt die Treffsicherheit 97,6 %. Aus diesem Grunde ist bei fraglichen oder nicht eindeutigen CT-Befunden die zusätzliche Durchführung einer Myelographie sinnvoll. Das Gleiche gilt für Patienten mit einer eindeutigen radikulären Klinik auch bei negativem CT-Befund.

Die Wertigkeit der Computertomographie ist für die Segmente L4/5 und L5/S1 gleich. Eine geringere Quote richtiger Befunde in Höhe L3/4 und eine 100-prozentige Treffsicherheit in Höhe L2/3 sind wegen der niedrigen Fallzahl nicht repräsentativ.

Die Myelographie ist dagegen in Höhe L5/S1 weniger aussagekräftig und weist hier nur eine Treffsicherheit von 77,5 % auf. Ein ähnliches Ergebnis hatten auch FRIES et al. (1982) berichtet. Wahrscheinlich ist hierfür der größere Epiduralraum verantwortlich, der in Höhe L5/S1 epiduralen Raumforderungen unterhalb einer gewissen Größe Platz bietet, ohne daß diese den Subarachnoidalraum komprimieren und myelographisch nachweisbar werden, während sie im hochauflösenden CT sichtbar sind.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Computertomographie sich in der Diagnostik des lumbalen Bandscheibenvorfalls bewährt hat. Sie steht darin der Myelographie in nichts nach und kann heute als diagnostische Methode der Wahl bei einer radikulären klinischen Symptomatik angesehen werden. Eine Zurückhaltung gegenüber ihrem Einsatz, wie sie gelegentlich noch geäußert wird (so BÄHREN 1982), ist nicht mehr angebracht. Sie hat als nicht-invasive Untersuchungsmethode den Vorteil, ambulant durchgeführt werden zu können. Andererseits kann auf die Myelographie in der Prolapsdiagnostik nicht ganz verzichtet werden. Sie kommt weiterhin bei unklaren CT-Befunden sinnvoll zum Einsatz und kann in diesen Fällen die Treffsicherheit noch erhöhen.

I. PROCEDERE IN DER DIAGNOSTIK DES LUMBALEN BANDSCHEIBENVORFALLS

Für das Vorgehen in der Diagnostik des lumbalen Bandscheibenvorfalls sollte folgende Leitlinie gelten:

1. Neurologische Untersuchung. Anamnese. Nativaufnahme der LWS.
2. Sind radikuläre Ausfälle nachweisbar oder persistiert eine radikuläre Schmerzsymptomatik trotz konservativer Therapie, sollte eine spinale Computertomographie durchgeführt werden. Nur wenn ein geeignetes Gerät nicht zur Verfügung steht, kann die Myelographie empfohlen werden.
3. Ergibt die Computertomographie einen positiven Befund, so sollte operiert werden. Bei nicht eindeutigen Befund oder bei negativem Befund (und anhaltender radikulärer Klinik) muß die Myelographie erfolgen.
4. Ergibt die Myelographie einen positiven Befund, wird operiert. Bei negativem Befund und weiterhin anhaltender eindeutig radikulärer Klinik sollte zur Objektivierung des klinischen Befundes ein EMG durchgeführt werden. Das EMG ist auch bei einer ausgeprägten Parese nicht überflüssig, da gleichzeitig ein ausgedehnterer, in anderen Bereichen noch subklinischer Prozeß ausgeschlossen werden muß.
5. Bei einer ausgeprägten radikulären Symptomatik mit Paresen, die auch im EMG eindeutig dokumentiert ist, sollte trotz negativen computertomographischen und myelographischen Befundes operiert werden.

K. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. Abel, M. S.: The unstable apophyseal joint: an early sign of lumbar disc disease. *Skeletal Radiol.* 2 (1977) 31
2. Abdullah, A. F., E. W. Ditto, E. B. Byrd u. R. W. Williams: Extreme lateral lumbar disc herniations. Clinical syndrome and special problems of diagnosis. *J. Neurosurg.* 41 (1974) 229
3. Ahlgren, P.: Amipaque myelography: the side effects compared with Dimer X. *Neuroradiol.* 9 (1975) 197
4. Ahlgren, P.: Amipaque myelography without late adhesive arachnoid changes. *Neuroradiol.* 14 (1978) 231
5. Alfidi, R. J., J. Haaga, T.F. Meany et al.: Computed tomography of the thorax and abdomen. A preliminary report. *Radiol.* 117 (1975a) 257
6. Alfidi, R. J., W. J. MacIntyre, T. F. Meany et al.: Experimental studies to determine application of CAT scanning of the human body. *Am. J. Roentgenol.* 124 (1975b) 199
7. Alfidi, R. J., W. J. MacIntyre, J. R. Haaga: The effects of biological motion on CT resolution. *Am. J. Roentgenol.* 127 (1976) 11
8. Ambrose, J.: Computerized transverse axial scanning (tomography). Part II. Clinical application. *Brit. J. Radiol.* 47 (1973) 1023
9. Amundsen, P., P. Helsing, K. Kristiansen: Evaluation of lumbar radiculography (myelography) with water-soluble contrast media. *Acta radiol. (Diagn.)* 1 (1963) 659
10. Arii, H., M. Takahashi, Y. Tamakawa et al.: Metrizamide spinal computed tomography following myelography. *Comput. Tomogr.* 4 (1980) 117
11. Arnell, S. u. F. Lidström: Myelography with Skiodan (Abrodil). *Acta radiol.* 12 (1931) 287
12. Bähren, W.: Wertigkeit der computertomographischen Diagnostik des Spinalkanals im Vergleich zur konventionellen Myelographie. *Wehrmed. Mschr.* (1982) 54 (Heft 2)
13. Benini, A.: Ischias ohne Bandscheibenvorfall: Die Einklemmung der lumbalen Nervenwurzel im Recessus lateralis des Spinalkanals. *Schweiz. Med. Wschr.* 106 (1976) 165
14. Bingas, B.: Persönliche Mitteilung (1982).
15. Bingas, B. u. Th. Grumme: Postoperative Komplikationen bei Bandscheibenprolapsoperationen. *Z. Orthop.* 111 (1973) 565
16. Bingas, B., J. Peters u. F. Golestan: Die Bedeutung der Computertomographie in der Diagnostik des lumbalen Bandscheibenvorfalles. *Dtsch. Ärztebl.* 79 (1982) Heft 46, 25
17. Bradăc, G. B. u. A. Kaernbach: Neue Aspekte in der Myelographie. Erfahrungen mit Amipaque. Berlin 1981 (Schering AG)

18. Brant-Zawadzki, M., E. M. Miller, M. P. Federle: CT in the evaluation of spine trauma. *Am. J. Roentgenol.* 136 (1981) 369
19. Braun, W.: Ursachen des lumbalen Bandscheibenvorfalls. Stuttgart 1969 (Hippokrates)
20. Bucher, O.: Cytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen. Bern 1973, 8. Aufl. (Huber)
21. Carrera, G. F., V. M. Haughton, A. Syvertsen u. A. L. Williams: Computed Tomography of the lumbar facet joints. *Radiol.* 134 (1980a) 145
22. Carrera, G. F., A. L. Williams u. V. M. Haughton: Computed tomography in sciatica. *Radiol.* 137 (1980b) 433
23. Ciappetta, P., R. Delfini, G. P. Cantore: Intradural lumbar disc hernia: Description of three cases. *Neurosurg.* 8 (1981) 104
24. Ciric, I., M. A. Mikhael, J. A. Tarkington u. N. A. Vick: The lateral recess syndrome. A variant of spinal stenosis. *J. Neurosurg.* 53 (1980) 433
25. Claass, A., U. Piepgras u. W. Wussow: Zur Frage der "Kontrast-mittelarachnitis" nach lumbosacraler Myelographie mit wasserlöslichem Kontrastmittel. *Röntgenpraxis* 35 (1982) 174
26. Claussen, C., Th. Grumme, J. Treisch, B. Lochner u. E. Kazner: Die Diagnostik des lumbalen Bandscheibenvorfalls. Computertomographische und myelographische Ergebnisse. *Fortschr. Röntgenstr.* 136 (1982) 1
27. Clavel, M.: Symptomatic Herpes Zoster and sciatica. A case report. *Acta Neurochirug.* 58 (1981) 259
28. Cloward, R. B.: Anterior herniation of a ruptured lumbar intervertebral disc. Comment on the diagnostic value of the discogram. *Arch. Surg.* 64 (1952) 547
29. Coin, C. G., Y. S. Chan, V. Keranen, M. Pennink: Computer assisted myelography in disc disease. *J. Comput. Ass. Tomogr.* 1 (1977) 398
30. Coin, C. G., J. T. Goin: Computed tomography of cervical disc disease: Technical considerations with representative case reports. *J. Comput. Ass. Tomogr.* 5 (1981) 275
31. Colley, D. P. u. S. B. Dunsker: Traumatic narrowing of the dorsolumbar spinal canal demonstrated by computed tomography. *Radiol.* 129 (1978) 95
32. Dandy, W. E.: Roentgenography of the brain after injection of air into the spinal canal. *Ann. Surg.* 70 (1919) 397
33. DiChiro, G., S. P. Axelbaum, D. Schellinger et al.: Computerized axial tomography in syringomyelia. *N. Engl. J. Med.* 292 (1976a) 13
34. DiChiro, G., D. Schellinger: Computed tomography of spinal cord after lumbar intrathecal introduction of metrizamide (computer assisted myelography). *Radiol.* 120 (1976b) 101

35. Donovan Post, M. J., F. P. Gargano, D. Q. Vining u. H. L. Rosomoff: A comparison of radiographic methods of diagnosing constrictive lesions of the spinal canal. Toshiba unit vs. CT scanner. J. Neurosurg. 48 (1978) 360
36. Drayer, B. P. u. A. E. Rosenbaum: Metrizamide brain penetrance. Acta radiol. Suppl. 355 (1977) 280
37. Federle, M. P., A. A. Moss, F. R. Margolin: Role of computed tomography in patients with 'sciatica'. J. Comput. Ass. Tomogr. 4 (1980) 335
38. Fries, J. W., D. A. Abodeely, J. G. Vijungco, V. L. Yeager u. W. R. Gaffey: Computed tomography of herniated and extruded nucleus pulposus. J. Comp. Ass. Tomogr. 6 (1982) 874
39. Galanski, M., A. Weidner u. H. Vogelsang: Der enge lumbale Spinalkanal. Röntgen-Bl. 35 (1982) 450
40. Gargano, F. P., R. Jacobson, H. L. Rosomoff: Transverse axial tomography of the spine. Neuroradiol. 6 (1974) 254
41. Gelderman, P. W.: The place of the CT scan in the three concept view (TCV) of the low back pain syndrome. A preliminary survey. Acta Neurochirurg. 61 (1982) 55
42. Gördes, W. u. W. Keyl: Myelographie und Ossovenographie als diagnostische Maßnahmen bei der lumbalen Nukleushernie. Z. Orthop. 112 (1974) 805
43. Grobowski, M.: Myelographisch sichtbare Nervenwurzelanomalien in der lumbosacralen Übergangsregion. Radiologe 21 (1981) 87
44. Grote, W.: Neurochirurgie. Stuttgart 1975 (Thieme)
45. Gulatt, A. N. u. Z. R. Weinstein: Gas in the spinal canal in association with the lumbosacral vacuum phenomenon: CT findings. Neuroradiol. 20 (1980) 191
46. Gurdjian, E. S., J. E. Webster, A. Z. Ostrowsky, W. G. Hardy, D. W. Lindner u. L. M. Thomas: Herniated lumbar intervertebral discs - an analysis of 1176 operated cases. J. Trauma 1 (1961) 158
47. Hakelius, A. u. J. Hindmarsh: The comparative reliability of preoperative diagnostic methods in lumbar disc surgery. Acta Orthop. Scan. 43 (1972) 234
48. Hall, F. M.: Overutilization of radiological examinations. Radiol. 120 (1976) 443
49. Hall, F. M.: Back pain and the radiologist. Radiol. 137 (1980) 861
50. Hammer, B.: Die Strahlenbelastung bei der lumbosacralen Radikulographie. Wien. Med. Wschr. 125 (1975) 400
51. Hammer, B.: Die lumbosacrale Radikulographie. Radiologe 20 (1980) 478
52. Hammer, B.: Neuroradiologische Erfahrungen mit Iopamidol, einem neuen nicht-ionischen wasserlöslichen Kontrastmittel. Radiologe 21 (1981) 274

53. Hammerschlag, S. B., S. M. Wolpert u. B. L. Carter: Computed tomography of the spinal canal. Radiol. 121 (1976) 361
54. Hansen, K. u. H. Schliack: Segmentale Innervation. Ihre Bedeutung für Klinik und Praxis. Stuttgart 1962 (Thieme)
55. Haughton, V. M., A. Syvertsen, A. L. Williams: Soft-tissue anatomy within the spinal canal as seen on computed tomography. Radiol. 134 (1980) 649
56. Haughton, V. M., O. P. Eldevik, B. Magnaes u. P. Amundsen: A prospective comparison of computed tomography and myelography in the diagnosis of herniated lumbar discs. Radiol. 142 (1982) 103
57. Hirschy, J. C., W. M. Leue, W. H. Berninger et al.: CT of the lumbosacral spine: Importance of tomographic planes parallel to vertebral end plate. Am. J. Neuroradiol. 1 (1980) 551
58. Hochman, M. S., C. Pena u. R. Ramirez: Calcified herniated thoracic disc diagnosed by computerized tomography. Case report. J. Neurosurg. 52 (1980) 722
59. Hounsfield, G. N.: Computerized transverse axial scanning (tomography). Part I: Description of system. Brit. J. Radiol. 46 (1973) 1016
60. Isherwood, I., R. A. Fawcett, W. St. C. Forbes, J. R. L. Nettle u. B. R. Pullan: Computer tomography of the spinal canal using metrizamide. Acta Radiol. Suppl. 355 (1977) 299
61. Jacobson, R. E., F. P. Gargano u. H. L. Rosomoff: Transverse axial tomography of the spine. Part 1 and 2. J. Neurosurg. 42 (1975) 406
62. Junges, R. u. H. Zwicker: Ergebnisse der computertomographischen Diagnostik an der lumbalen Bandscheibe. Dtsch. Med. Wschr. 106 (1981) 674
63. Junges, R. u. H. Zwicker: Die Wertigkeit der CT-Untersuchung bei Bandscheibenvorfällen. Fortschr. Röntgenstr. 136 (1982) 166
64. Junghans, H.: Die funktionelle Pathologie der Zwischenwirbelscheiben. Langenbecks Arch. Clin. Chir. 267 (1951) 393
65. Kaeser, H. E.: Elektromyographische Untersuchungen bei lumbalen Discushernien. Dtsch. Z. Nervenheilk. 187 (1965) 285
66. Kazner, E.: Auswirkungen der Computer-Tomographie auf die Diagnostik neurologischer und neurochirurgischer Erkrankungen. Münch. Med. Wschr. 123 (1981) 568
67. Klumair, J. u. K. Fochem: Zur Problematik der Wirbellochmessung in der Computertomographie. Radiologe 20 (1980) 203
68. Krämer, J.: Bandscheibenbedingte Erkrankungen. Stuttgart 1978 (Thieme)
69. Lackner, K. u. S. Schroeder: Computertomographie der Lendenwirbelsäule. Fortschr. Röntgenstr. 133 (1980) 124

70. Lackner, K., S. Schroeder u. O. Köster: Quantitative Auswertung, Indikation und Wertigkeit der Computertomographie der Lendenwirbelsäule. Fortschr. Röntgenstr. 137 (1982) 309
71. Langlotz, M.: Lumbale Myelographie mit wasserlöslichen Kontrastmitteln. Stuttgart 1981 (Thieme)
72. Lasègue, Ch.: Considérations sur la sciatique. Arch. Gén. Méd. 2 (1864) 558
73. Lee, B. C. P., E. Kazam u. A. D. Newman: Computed tomography of the spine and spinal cord. Radiolog. 128 (1978) 95
74. Lindblom, K.: Protrusions of discs and nerve compression in the lumbar region. Acta Radiol. 25 (1944) 194
75. Lochner, B., Th. Grumme u. C. Claussen: Computertomographische Diagnostik einer Pseudomeningocele nach lumbaler Bandscheibenoperation. Fortschr. Röntgenstr. 137 (1982) 224
76. Loew, F., K. A. Jochheim u. R. Kivelitz: Klinik und Behandlung der lumbalen Bandscheibenschäden. Handbuch der Neurochirurgie VII/1, Berlin 1969 (Springer)
77. Luken, M. G., W. J. Michelsen, M. A. Whelan u. D. L. Andrews: The diagnosis of sacral lesions. Surg. Neurol. 15 (1981) 377
78. Meier, C., H.-P. Ludin u. M. Mumenthaler: Die vaskulitische Ischiasneuritis. Nervenarzt 53 (1982) 196
79. Meijenhorst, G. C. H.: Transfemoral epidural double-catheter venography in the diagnosis of lumbar disc herniation. Deventer 1980 (De Bruijn)
80. Meyer, G. A., V. M. Haughton, A. L. Williams: Diagnosis of herniated lumbar disc with computed tomography. N. Eng. J. Med. 301 (1979) 1166
81. Memon, M. Y. u. J. Schneek, L.: Ventral spinal tumor: The value of computed tomography in its localization. Neurosurg. 8 (1981) 108
82. Mikhael, M. A., I. Ciric, J. A. Tarkington u. N. A. Vick: Neuroradiological evaluation of lateral recess syndrome. Radiol. 140 (1981) 97
83. Mixter, W. J., J. S. Barr: Rupture of the intervertebral disc with involvement of the spinal canal. N. Engl. J. Med. 211 (1934) 210
84. Mohsenipour, J., K. Twerdy u. E. Pirker: Eine Gegenüberstellung Röntgenbild-Operationsbefund bei lumbalen Bandscheiben-erkrankungen. Fortschr. Röntgenstr. 127 (1977) 540
85. Moringlane, J. R., K. Voigt u. W. Seeger: Vergleich myelographischer und intraoperativer Befunde beim lumbalen Bandscheibenvorfall. Neurochirurgia 20 (1977) 199
86. Müller, H. A., W. Sachsenheimer u. G. v. Kaick: Die Wertigkeit der CT bei der präoperativen Diagnostik von Bandscheibenvorfällen. Fortschr. Röntgenstr. 135 (1981) 535

87. Mumenthaler, M.: "Ischias": Eine Falle für den Diagnostiker. *Ärztl. Praxis* 33 (1981) 914
88. Mumenthaler, M. u. H. Schliack: *Lesionen peripherer Nerven*. 4. Auflage Stuttgart 1982 (Thieme)
89. Naidich, T. P., D. G. King, C. J. Moran u. S. S. Sagel: Computed tomography of the lumbar thecal sac. *J. Comp. Ass. Tomogr.* 4 (1980) 37
90. Nakagawa, H., Y. P. Huang, L. I. Malis u. B. S. Wolf: Computed tomography of intraspinal and paraspinal neoplasms. *J. Comp. Ass. Tomogr.* 1 (1977) 377
91. Nebel, G., W. Dihlmann, G. Lingg u. L. Hering: Computed tomography in the diagnosis of prolapsed intervertebral disc. *Europ. J. Radiol.* 1 (1981) 158
92. Nedden, D. z., J. Moshenipour u. B. Hammer: Der Stellenwert der Computertomographie in der Diagnostik des lumbalen Diskus-Prolaps. Referat 2. Grazer CT-Symposium "Neue Anwendungen der Computertomographie" 2. - 3. 10.1981
93. Nykamp, P. W., J. M. Levy, F. Christenson, R. Dunn u. J. Hubbard: Computed tomography for a bursting fracture of the lumbar spine. Report of a case. *J. Bone Jt. Surg. A* 60 (1978) 1108
94. Oberson, R., F. Azam u. F. Regli: Computertomographie des Wirbelkanals mit wasserlöslichen Kontrastmitteln (Metrizamid). *Akt. Neurol.* 4 (1977) 195
95. Oppenheimer, A.: Diseases of the apophyseal (intervertebral) articulations. *J. Bone Jt. Surg.* 20 (1938) 285
96. Oppenheim, H. u. F. Krause: Über Einklemmung bzw. Strangulation der Cauda equina. *Dtsch. Med. Wschr.* 35 (1909) 697
97. Pásztor, E. u. J. Szarvas: Herniation of the upper lumbar discs. *Neurosurg. Rev.* 4 (1981) 151
98. Penzholz, H. u. M. Wolter: Vergleich der Höhenlokalisation lumbaler Bandscheibenvorfälle durch Röntgenfunktionsdiagnostik der LWS im sagittalen Strahlengang mit dem Operationsbefund. *Zentralbl. Neurochir.* 24 (1964) 198
99. Peters, J. u. B. Bingas: Ein Beitrag zum computertomographischen Nachweis spinaler Tumoren. Referat Berliner Ges. f. Psychiatrie u. Neurologie 5. 5. 1982
100. Peyser, E. u. A. Harari: Intradural rupture of lumbar intervertebral disc: report of two cases with review of the literature. *Surg. Neurol.* 8 (1977) 95
101. Piepgras, U.: *Neuroradiologie*. Stuttgart 1977 (Thieme)
102. Quincke, H.: Über Rheumatismus. *Dtsch. Med. Wschr.* 43 (1917) 993 u. 1030

103. Raininko, R. u. T. Törmä: Contrast enhancement around a prolapsed disc. *Neuroradiol.* 24 (1982) 49
104. Ramsey, G. G., J. D. French u. W. H. Strain: Jodinated organic compounds as contrast media for radiographic diagnoses, pantopaque myelography. *Radiol.* 43 (1944) 236
105. Raskin, S. P.: Introduction to computed tomography of the lumbar spine. *Orthopedics* 3 (1980) 1011
106. Raskin, S. P.: Degenerative changes of the lumbar spine: Assessment by computed tomography. *Orthopedics* 4 (1981a) 186
107. Raskin, S. P.: Demonstration of nerve roots on unenhanced computed tomographic scans. *J. Comput. Ass. Tomogr.* 5 (1981b) 281
108. Reiser, M., St. Feuerbach, U. Gullotta u. E. Goebel: Computertomographische Darstellung einer Liquorzyste nach Myelographie und Diskusoperation. *Fortschr. Röntgenstr.* 133 (1980) 218
109. Richert, S., K. Sartor u. B. Holl: Subclinical organic psychosyndromes on intrathecal injection of metrizamide for lumbar myelography. *Neuroradiol.* 19 (1979) 153
110. Sachsenheimer, W., J. Hamer u. H. A. Müller: The value of spinal computed tomography in diagnosis of herniated lumbar disc. *Acta Neurochir.* 60 (1982) 107
111. Salvolini, U., A. Serio u. L. D'Albenzio: High resolution CT studies following lumbar disc operations. Referat 10th Congress of the European Society of Neuroradiology, Milan 25. - 26. 9. 1981 (Abstract in *Neuroradiol.* 22, 1981, 276)
112. Sartor, K.: Spinale Computertomographie, Neue Perspektiven in der Diagnostik der Wirbelsäule und des Rückenmarks. *Radiologe* 20 (1980a) 485
113. Sartor, K.: Computertomographie bei Verletzungen der Halswirbelsäule und der oberen Brustwirbelsäule. *Fortschr. Röntgenstr.* 132 (1980b) 132
114. Sartor, K.: Computertomographie bei spinalen Tumoren. *Fortschr. Röntgenstr.* 132 (1980c) 391
115. Sartor, K. u. S. Richert: Computertomographie des zervikalen Spinalkanals nach intrathekalem Enhancement: Zervikale CT-Myelographie. *Fortschr. Röntgenstr.* 130 (1979) 261
116. Schäfer, M., H. Riebeling u. H. Hacker: Die falsch-negativen Resultate der lumbalen Myelographie mit wasserlöslichem Kontrastmittel. In: Schiefer, W. u. H. H. Wiek: *Spinale raumfordernde Prozesse.* Erlangen 1976 (Perimed)
117. Schellinger, D., G. DiChiro, S. P. Axelbaum et al.: Early clinical experience with the ACTA scanner. *Radiol.* 114 (1975) 257

118. Schimrigk, K. u. A. Reinekt: Klinische Symptomatik und pathogenetische Bedeutung der Megacauda. Orthop. Praxis 13 (1977) 717
119. Schliack, H.: Die für die Höhendagnostik lumbaler Bandscheibenhernien pathognomonischen Ausfälle der Muskulatur. Dtsch. Med. Wschr. 82 (1957) 1820
120. Schliack, H.: Radikulär bedingte Beschwerden und ihre Differenzialdiagnose. Ther. Umsch. 32 (1975) 410
121. Schliack, H. u. R. Schiffter: Umschriebene Störungen der Schweißsekretion als diagnostisches Kriterium. Med. Welt. 22 (1971) 1421
122. Schmidt, R. C.: Mental disorders after myelography with metrizamide and other watersoluble contrast media. Neuroradiol. 19 (1980) 153
123. Schmidt, R. C. u. W. Pöhl: Lumbale Bandscheibenvorfälle im Diskogramm. Fortschr. Röntgenstr. 130 (1979) 85
124. Schmorl, G. u. H. Junghanns: Die gesunde und die kranke Wirbelsäule in Röntgenbild und Klinik. 5. Auflage Stuttgart 1968 (Thieme)
125. Schoeter, I. u. J. Wappenschmidt: Die intraspinale Raumforderung im computerassistierten Myelogramm (CAM). Fortschr. Röntgenstr. 133 (1980) 527
126. Schroeder, S. u. K. Lackner: Computertomographische Untersuchung der Lendenwirbelsäule. Z. Orthop. Grenzgeb. 118 (1980) 147
127. Schubiger, O. u. A. Valavanis: CT differentiation between recurrent disc herniation and postoperative scar formation: The value of contrast enhancement. Neuroradiol. 22 (1982) 251
128. Schultz, E. u. P. Fischer: Meßungenauigkeiten und Artefakte bei der Computertomographie. Fortschr. Röntgenstr. 137 (1982) 466
129. Seibert, C. E., J. E. Barnes, J. N. Dreisbach et al.: Accurate CT Measurement of the spinal cord using metrizamide: Physical factors. Am. J. Neuroradiol. 2 (1981) 75
130. Sheedy, P. F., D. H. Stephens, R. R. Hattery, J. R. Muhs u. G. W. Hartman: Computed tomography of the body - initial clinical trial with EMI prototype. Am. J. Roentgenol. 127 (1976) 23
131. Sheldon, J. J., T. Sersland, J. Leborgne: Computed tomography of the lower lumbar vertebral column. Radiol. 124 (1977) 113
132. Sicard, J. A. u. J. E. Forestier: Méthode générale d'exploration radiologique par livelle jodie. Bull. Soc. Med. Hôp. Paris (1922) 463

133. Siegel, S.: Nonparametric statistics for the behavioral sciences. New York 1956 (Mc Graw-Hill)
134. Simon, W.: Stimmen Röntgendiagnose und Operationsbefund bei der lumbalen Myelographie überein? Radiologe 21 (1981) 347
135. Skälpe, J. O. u. O. Sortland: Myelography. Textbook and atlas. Oslo 1978 (Tanum-Norli)
136. Spangfort, E. V.: The lumbar disc herniation. A computer-aided analysis of 2504 operations. Acta Orthop. Scan. (Suppl.) 142 (1972) 1
137. Stahl, C.: Experimentelle Untersuchungen zur Biomechanik der Halswirbelsäule. Med. Diss. Düsseldorf 1977 (zitiert n. Krämer, J.: Bandscheibenbedingte Erkrankungen. Stuttgart 1978)
138. Stanley, R. J., S. S. Sagel u. R. Levitt: Computed tomography of the body - Early trends in application and accuracy of the method. Am. J. Roentgenol. 127 (1976) 53
139. Stoeter, P., R. Bergleiter u. M. Schuhmacher: Diagnostische Bedeutung der spinalen Computertomographie unter besonderer Berücksichtigung einer achsengerechten Schicht-einstellung. Fortschr. Röntgenstr. 134 (1981) 123
140. Stoeter, P., J. Schneider, R. Bergleiter u. U. Ebeling: Diagnostischer Wert der computertomographischen Untersuchung der Lumbosacralregion bei Patienten mit Lumboschialgien. Fortschr. Röntgenstr. 136 (1982) 515
141. Stojanović, J.: Die Bedeutung der Analyse von Röntgenüber-sichtsaufnahmen der Lendenwirbelsäule für die Höhen-lokalisierung des Bandscheibenschadens. Radiologe 22 (1982) 368
142. Tadmor, R., K. R. Davis, G. H. Roberson, P. F. J. New u. J. M. Taveras: Computed tomographic evaluation of traumatic spinal injuries. Radiol. 127 (1978) 825
143. Tahmouresie, A., A. B. Harris u. R. H. Patterson jr.: Herniated thoracic intervertebral disc. An unusual presentation: Case Report. Neurosurg. 7 (1980) 623
144. Thijssen, H. O. M., A. Keyser, M. W. M. Horstink u. E. Meijer: Morphology of the cervical spinal cord on computed myelo-graphy. Neuroradiol. 18 (1979) 57
145. Thron, A. u. S. Bockenheimer: Technik und diagnostischer Wert der lumbalen Funktionsmyelographie beim Bandscheiben-prolaps. Fortschr. Röntgenstr. 130 (1979) 81
146. Töndury, G.: Die Lebenskurve der Zwischenwirbelscheiben. In: Trostorf, E. u. H. St. Stender (Hrsg): Wirbelsäule und Nervensystem. Stuttgart 1970 (Thieme)
147. Tóth Daru, P. u. E. Huszka: Der Eiweißgehalt des Liquors bei Patienten mit lumbalen Diskushernien. Neurochirurgia 25 (1982) 132

148. Ullrich, C. G., E. F. Binet, M. G. Sanecki u. S. A. Kieffer:
Quantitative Assessment of the lumbar spinal canal by
computed tomography. Radiol. 134 (1980) 137
149. Veiga-Pires, J. A. u. M. C. Kaiser: Direct coronal slices
on CT scanning of the spine. Technical note. Neuroradiol.
22 (1982) 203
150. Verbiest, H.: The significance and principles of computerized
axial tomography in idiopathic developmental stenosis of
the bony lumbar vertebral canal. Spine 4 (1979) 369
151. Verbiest, H.: Stenosis of the lumbar vertebral canal and
sciatica. Neurosurg. Rev. 3 (1980) 75
152. Viets, H. R.: Domenico Cotugne: his description of the cerebro-
spinal fluid. Bull. Int. Hist. Med. III (1935) 701
153. Vogelsang, H.: Die spinale Ossovenographie. Berlin 1969
(de Gruyter)
154. Wackenheim, A. u. D. Vallier, E. Babin: Die konstitutionelle
Stenose des Lumbalkanals. Radiologe 20 (1980) 470
155. Wegener, O.-H.: Artefakte in der Computertomographie. Fortschr.
Röntgenstr. 132 (1980) 643
156. Weinstein, M. A., A. D. Rothner, P. Duchesneau u. D. F. Dohn:
Computed tomography in diastematomyelia. Radiology 117
(1975) 609
157. Weiss, Th., J. Treisch, C. Claussen u. D. Banzer: Irrtums-
möglichkeiten und Schwierigkeiten in der computertomo-
graphischen Diagnostik lumbaler Bandscheibenvorfälle.
Fortschr. Röntgenstr. 138 (1983) 54
158. Wellauer, J.: Die Myelographie mit positiven Kontrastmitteln.
Stuttgart 1961 (Thieme)
159. Wenker, H. u. M. Schirmer: Lumbaler Bandscheibenvorfall und
Lumboischialgie. Aktuelle Probleme in der Psychiatrie,
Neurologie u. Neurochirurgie Bd. 8. Bern 1979 (Huber)
160. Williams, A. L., V. M. Haughton u. A. Syvertsen: Computed
tomography in the diagnosis of herniated nucleus pulposus.
Radiol. 135 (1980) 95
161. Yamamoto, I., N. Kageyama, K. Nakamura u. T. Takahashi:
Computerized tomography in dorsal spinal stenosis. Report
of three cases. Acta Neurochir. 53 (1980) 161
162. Zeitner, G. M.: Katamnestiche Untersuchungen an 110
operierten Patienten mit lumbalem Bandscheibenprolaps.
Inaugural-Diss. FU Berlin 1980

LEBENS LAUF

Ich wurde am 3. Dezember 1949 in Asel, Kreis Wittmund (Niedersachsen) als Sohn des Bankkaufmanns Hajo Peters und der Hausfrau Gisela Peters, geb. Häde, geboren. Nach dem Besuch der Volksschule in Wittmund und des Mariengymnasiums in Jever, wo ich im Jahre 1968 das Abitur ablegte, studierte ich an der Universität Hamburg Psychologie. Nach dem Vordiplom setzte ich dieses Studium an der Freien Universität Berlin fort und bestand hier im Sommersemester 1974 die Diplomprüfung für Psychologen. Seit dem Wintersemester 1973/74 studierte ich an der Freien Universität Berlin Medizin. Nach dem im Urbankrankenhaus in Berlin-Kreuzberg absolvierten Praktischen Jahr bestand ich im Oktober 1979 die Ärztliche Prüfung und erhielt am 12. November 1979 die Approbation als Arzt. Vom 15. November 1979 bis zum 31. Mai 1982 arbeitete ich als Assistenzarzt an der Neurochirurgischen Abteilung des Sankt-Gertrauden-Krankenhauses in Berlin-Wilmersdorf (Chefarzt: Prof. Dr. med. B. Bingas). Seit dem 1. Juni 1982 bin ich wissenschaftlicher Assistent an der Neurologischen Klinik und Poliklinik der Medizinischen Hochschule Hannover (Direktor: Prof. Dr. med. H. Schliack).

